

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CAMPUS JABOTICABAL

DIGESTIBILIDADE, BIODISPONIBILIDADE E EXIGÊNCIA
DE L-TREONINA PARA FRANGOS DE CORTE

Erikson Kadoshe de Moraes Raimundo
Agroecólogo

2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CAMPUS JABOTICABAL

DIGESTIBILIDADE, BIODISPONIBILIDADE E EXIGÊNCIA
DE L-TREONINA PARA FRANGOS DE CORTE

Discente: Erikson Kadoshe de Moraes Raimundo

Orientador: Prof. Dr. Edney Pereira da Silva

**Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agrária e Veterinárias - Unesp, Câmpus de
Jaboticabal, como parte das exigências
para a obtenção do título de Doutor em
Ciência Animal**

FICHA CATALOGRÁFICA

R153d Raimundo, Erikson Kadoshe de Moraes
Digestibilidade, biodisponibilidade e exigência de
L-treonina para frangos de corte / Erikson Kadoshede Moraes
Raimundo. -- Jaboticabal, 2024
143 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista(UNESP),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Edney Pereira Silva

1. Biodisponibilidade. 2. Composição corporal. 3.Desempenho.
4. Digestibilidade. I. Título.

**Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp.
Dados fornecidos pelo autor(a).**

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: DIGESTIBILIDADE, BIODISPONIBILIDADE E EXIGÊNCIA DE L-TREONINA PARA FRANGOS DE CORTE

AUTOR: ERIKSON KADOSHE DE MORAIS RAIMUNDO

ORIENTADOR: EDNEY PEREIRA DA SILVA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Ciência Animal, área: Nutrição Animal pela Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
gov.br EDNEY PEREIRA DA SILVA
Data: 14/11/2024 10:39:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. EDNEY PEREIRA DA SILVA (Participação Presencial)
Departamento de Zootecnia / FCAV UNESP Jaboticabal

Dra. ELIANE APARECIDA DA SILVA (Participação Presencial)
CJ do Brasil Indústria e Comércio de Produtos Alimentícios LTDA / São Paulo/SP
Documento assinado digitalmente
gov.br ELIANE APARECIDA DA SILVA
Data: 14/11/2024 14:29:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. MARIANE DE OLIVEIRA FERNANDES (Participação Virtual)
Departamento de Nutrição Animal / Mantiqueira Brasil - Descalvado/SP
Documento assinado digitalmente
gov.br MARIANE DE OLIVEIRA FERNANDES
Data: 18/11/2024 08:06:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. FELIPE DILELIS DE RESENDE SOUSA (Participação Presencial)
Departamento de Zootecnia / ESALQ USP Piracicaba/SP
Documento assinado digitalmente
gov.br FELIPE DILELIS DE RESENDE SOUSA
Data: 14/11/2024 12:43:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Associado MANOEL GARCIA NETO (Participação Presencial)
Departamento de Produção e Saúde Animal / FMV UNESP Araçatuba
Documento assinado digitalmente
gov.br MANOEL GARCIA NETO
Data: 14/11/2024 10:51:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Jaboticabal, 18 de outubro de 2024

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

ERIKSON KADOSHE DE MORAIS RAIMUNDO, nascido em 27 de abril de 1992, é filho de José Raimundo Junior e Maria Emília de Moraes. Em fevereiro de 2010, ingressou no curso técnico em Agropecuária no Colégio Agrícola Vidal de Negreiros, Bananeiras - PB. Ao longo desse período, destacou-se por sua participação ativa em atividades relacionadas à produção animal e vegetal, culminando na sua formatura em 2013. No mesmo ano, foi aprovado no vestibular para o curso de Agroecologia na Universidade Federal da Paraíba, Bananeiras – PB, concluindo o curso com êxito em 2018. Durante esse intervalo, manteve seu engajamento em trabalhos nas áreas referentes a produção animal, vegetal e de extensão rural, com especial dedicação à produção de aves caipiras em Assentamentos Rurais da Paraíba. Em 2018, conquistou mais um marco ao ser aprovado no Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural, na Universidade Federal de São Carlos, Araras – SP. Em 2020, submeteu-se à defesa da Dissertação para a obtenção do título de Mestre. Avançando em sua trajetória acadêmica, em março de 2021, ingressou no curso de Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, em Jaboticabal – SP. Sob a orientação do Prof. Dr. Edney Pereira da Silva, submetendo-se a defesa de tese no dia 18 de outubro de 2024.

EPÍGRAFE

Não sei nada sobre como superar os outros. Só conheço a maneira de superar a
mim mesmo.

Código Samurai

Desengano
Lula Côrtes

“Penso nos martírios
Todos os delírios loucos que vivenciamos
E vejo por quantos anos nos aventuramos querendo voar
Voar pra sair de perto
De todo deserto desses abandonos
E constatando o desengano se despedaçar

Desfeito em pedaços
Sigo no encalço desse sonho
Vejo meu sorriso magro
Coração amargo se atrapalhar
Quando franzo a testa
E sério suo o rosto cor de madrugada
Quando abro os olhos, olhos claros para o mar”

DEDICATÓRIA

Aos dedicados mestres e companheiros de treino do Espaço Insano, com profundo carinho e gratidão, dedico este momento especial.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida.

À minha família por todo apoio durante a minha trajetória de vida, em especial aos meus pais, José Raimundo Junior, Maria Emília de Moraes e as minhas irmãs, Greice e Gleika.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias por ter possibilitado a realização do curso de Doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa de estudos.

À empresa CJ do Brasil pelo financiamento da pesquisa.

Ao prof. Dr. Edney Pereira da Silva pela orientação, ensinamentos, paciência e dedicação.

À profa. Dra. Michele Bernardino por todo auxílio e orientação durante a condução dos experimentos.

Aos professores Drs. Renato Furlan, Danilo Marçal e Lizandra Amoroso pela contribuição na banca de qualificação.

Aos Drs. Felipe Dilelis, Manoel Garcia, Eliane Aparecida e Mariane Fernandes por aceitar contribuir na avaliação da tese.

Ao professor Rafael Marcelino, pela socialização dos conhecimentos da arte suave.

Aos irmãos de treino do Espaço Insano, Luca Moraes, Carlos Roberto, Manoel Neto, Rafael Cabral, Leo, Rodrigo Pedroso, Yuri Pedroso, Caio, Thiago, Alexandre e a todos os demais que já fizeram parte desta equipe, agradeço por possibilitarem a paz e o equilíbrio necessário para “finalizar” essa etapa.

Aos companheiros de república, Audasley Tadeu, Daniel Santos, Ítalo Henrique, Isidro Chemane e Zeka Vilanculo, pela socialização de causos e contos.

Aos integrantes do Poultry Education Group pelo apoio na condução dos experimentos.

Aos funcionários do setor de avicultura, Antônio Beterraba, Toninho Turco e Robson, pelo auxílio no desenvolvimento das atividades.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a minha formação pessoal e profissional o meu muito obrigado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais	2
Aminoácidos sintéticos na alimentação animal	2
Caracterização, metabolismo e funções da treonina	7
Modelos matemáticos para descrever as exigências nutricionais de aves	9
Referências	12
CAPÍTULO II – Digestibilidade de fontes de treonina para frangos de corte	18
Resumo	18
Introdução	18
Material e Métodos	20
Resultados	25
Discussão	32
Referências	35
CAPÍTULO III - Biodisponibilidade relativa de l-treonina-biomassa 80% e l-treonina 98,5% para frangos de corte nas fases de 1 – 21 e de 22 – 42 dias de idade	38
Resumo	38
Introdução	38
Material e Métodos	40
Procedimentos gerais	40
Experimento I	41
Ensaio de comparação direta nas fases de 1 – 21 e 22 – 42 dias de idade ..	41
Experimento II	44
Ensaio de biodisponibilidade relativa pela razão de inclinação	44
Resultados	49
Experimento I	49
Experimento II	54
Discussão	74
Referências	77
CAPÍTULO IV - Resposta dietética da treonina sobre o desempenho, rendimento de carcaça e composição corporal de frangos de corte	80
Resumo	80
Introdução	81
Material e Métodos	82
Procedimentos gerais	82
Exigência de L-treonina de biomassa na fase de 1 – 21 dias de idade	82
Exigência de L-treonina de biomassa na fase de 22 – 42 dias de idade	85
Resultados	88
Experimento I	88
Experimento II	101
Discussão	114
Referências	119

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II – Digestibilidade de fontes de treonina para frangos de corte

Tabela 1. Composição das dietas utilizadas para determinar a digestibilidade de treonina e perda endógena pelo método direto 21

Tabela 2. Composição das dietas utilizadas para determinar a digestibilidade de treonina pelo método substituição 23

Tabela 3. Fluxo basal de AA endógeno (g/kg MS) e composição da proteína endógena (g/100g de PB) determinados pela dieta isenta de proteínas 25

Tabela 4. Coeficientes de digestibilidade ileal aparente e padronizada de matéria seca, nitrogênio, proteína bruta, energia bruta e treonina (g/kg) para frangos de corte pelo método direto 26

Tabela 5. Coeficientes de digestibilidade ileal aparente de matéria seca, nitrogênio, proteína bruta, energia bruta e aminoácidos de frangos de corte determinados para as dietas com diferentes concentrações de treonina 27

Tabela 6. Digestibilidade aparente de matéria seca, nitrogênio, proteína bruta, energia bruta e aminoácidos digeridos por dia até o íleo terminal, em função da ingestão de alimento descrita pelo método da regressão linear 28

Tabela 7. Coeficientes de digestibilidade ileal padronizada de matéria seca, nitrogênio, proteína bruta, energia bruta e aminoácidos de frangos de corte determinados para as dietas com diferentes concentrações de treonina 30

Tabela 8. Digestibilidade padronizada de matéria seca, nitrogênio, proteína bruta, energia bruta e aminoácidos digeridos por dia até o íleo terminal, em função da ingestão de alimento descrita pelo método da regressão linear 31

CAPÍTULO III – Biodisponibilidade relativa de L-treonina-biomassa 80% e L-treonina 98,5% para frangos de corte nas fases de 1 – 21 e de 22 – 42 dias de idade

Tabela 1. Composição nutricional das dietas de frangos de corte nas fases de 1 - 21 e 22 - 42 dias de idade. 43

Tabela 2. Composição das dietas experimentais fornecidas na fase de 1 – 21 dias de idade. 45

Tabela 3. Composição das dietas experimentais fornecidas na fase de 22 – 42 dias de idade. 48

Tabela 4. Consumo de ração (g/ave), peso corporal (g/ave), ganho de peso (g/ave), conversão alimentar e eficiência de utilização de frangos de corte, aos 7, 14 e 21

dias de idade, dieta com L- treonina biomassa 80% e L-treonina 98,5% pelo método direto. 50

Tabela 5. Consumo de ração (g/ave), peso corporal (g/ave), ganho de peso (g/ave), conversão alimentar e eficiência de utilização de frangos de corte, aos 28, 35 e 42 dias de idade, dieta com L-treonina-biomassa 80% e L-treonina 98,5% pelo método direto. 50

Tabela 6. Avaliação in vivo da composição corporal de frangos de corte aos 21 e 42 dias de idade alimentados com dietas contendo L-treonina biomassa 80% e L-treonina 98,5% utilizando o método direto. 53

Tabela 7. Rendimento de carcaça de frangos de corte machos aos 42 dias de idade alimentados com dietas contendo L-treonina-biomassa 80% e L-treonina 98,5% usando o método direto..... 54

Tabela 8. Consumo diário de ração (g/ave d), ganho de peso diário (g/ave d), conversão alimentar (g/g) e eficiência de utilização (g/kg) de frangos de corte aos 7, 14 e 21 dias de idade alimentados com dietas contendo L-treonina biomassa 85 % e L-treonina 98,5%. 56

Tabela 9. Ingestão diária de treonina (g/ave), Deposição diária de treonina (g/ave), Manutenção diária de treonina (g/ave) e Eficiência de utilização de treonina (g/kg) de frangos de corte, aos 7, 14 e 21 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80% e L-treonina 98,5% pelo método slop ratio 57

Tabela 10. Estimativa dos parâmetros de desempenho e biodisponibilidade relativa da biomassa de L-treonina 80% dos frangos de corte machos aos 21 dias de idade. 58

Tabela 11. Avaliação in vivo da composição corporal de frangos de corte machos aos 21 dias de idade alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80% e L-treonina 98,5% utilizando o método slop ratio..... 61

Tabela 12. Estimativa dos parâmetros de composição corporal e biodisponibilidade relativa da biomassa de L-treonina 80% dos frangos de corte machos aos 1 e 21 dias de idade. 62

Tabela 13. Consumo diário de ração (g/ave dia), Ganho diário de peso corporal (g/ave dia), Conversão alimentar (g/g) e Eficiência alimentar (g/kg) de frangos de corte, aos 28, 35 e 42 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80% e L-treonina 98,5% pelo método slop ratio. 63

Tabela 14. Ingestão diária de treonina (g/ave), Deposição diária de treonina (g/ave), Manutenção diária de treonina (g/ave) e Eficiência de utilização de treonina (g/kg) dos frangos de corte machos aos 28, 35 e 42 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80% e L-treonina 98,5% pelo método slop ratio. 64

Tabela 15. Estimativa dos parâmetros de desempenho e biodisponibilidade relativa da biomassa de L-treonina 80% dos frangos de corte machos aos 42 dias de idade.	65
---	----

Tabela 16. Avaliação in vivo da composição corporal de frangos de corte machos aos 42 dias de idade alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80% e L-treonina 98,5% utilizando o método slop ratio.....	68
---	----

Tabela 17. Estimativa dos parâmetros de composição corporal e biodisponibilidade relativa da biomassa de L-treonina em 80% dos frangos de corte machos aos 22 e 42 dias de idade.	69
--	----

Tabela 18. Rendimento de carcaça de frangos de corte com 42 dias de idade. ..	71
---	----

Tabela 19. Estimativa dos parâmetros de rendimento de carcaça e biodisponibilidade relativa da biomassa de L-treonina 80% dos frangos de corte machos aos 42 dias de idade (g/ave).....	72
---	----

Tabela 20 Estimativa dos parâmetros de rendimento de carcaça e biodisponibilidade relativa da biomassa de L-treonina 80% dos frangos de corte machos aos 42 dias de idade (g/kg).....	73
---	----

CAPÍTULO IV - Resposta dietética da treonina sobre o desempenho, rendimento de carcaça e composição corporal de frangos de corte

Tabela 1. Composição nutricional das dietas experimentais de 1 a 21 dias de idade.	83
---	----

Tabela 2. Composição nutricional das dietas experimentais dos 22 aos 42 dias de idade.	87
---	----

Tabela 3. Consumo diário de ração (g/ave dia), ganho diário de peso corporal (g/ave dia), conversão alimentar (g/g) e eficiência alimentar (g/kg) de frangos de corte, aos 7, 14 e 21 anos dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%.	90
--	----

Tabela 4. Consumo diário de treonina (mg/frango), deposição diária de treonina (mg/frango) e manutenção diária de treonina (mg/frango) de frangos de corte, aos 7, 14 e 21 dias de idade, alimentados com dietas com L- treonina-biomassa 80%.	92
---	----

Tabela 5. Parâmetros lineares e de platô quadrático em linha quebrada para consumo diário de treonina, ganho diário de peso corporal, conversão alimentar, eficiência alimentar e deposição diária de treonina de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade, alimentado com dietas com L-treonina- biomassa 80%.	93
--	----

Tabela 6. Exigências de treonina de acordo com a linha quebrada platô linear (BL), linha quebrada quadrática-platô (BLq) e primeiro intercepto de BLq nos modelos de	
--	--

platô BL em mg/frango por dia e % para consumo diário de ração, diariamente ganho de peso corporal, conversão alimentar, eficiência alimentar e deposição diária de treonina de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%. 94

Tabela 7. Avaliação in vivo da composição corporal de frangos de corte machos aos 21 dias de idade alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%. 98

Tabela 8. Parâmetros lineares tracejados e de platô quadrático para peso corporal, massa total, água corporal, proteína corporal e lipídeo corporal de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%. 99

Tabela 9. Exigências de treonina de acordo com a linha quebrada platô linear (BL), linha tracejada quadrática-platô (BLq) e primeira interceptação de BLq nos modelos de platô BL em mg/frango por dia e % para peso corporal, massa total, proteína corporal, lipídeo corporal e água corporal de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%. 100

Tabela 10. Consumo diário de ração (g/frango d), Ganho diário de peso corporal (g/frango d), Taxa de conversão alimentar (g/g) e Eficiência alimentar (g/kg) de frangos de corte, aos 28, 35 e 42 anos dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%. 102

Tabela 11. Consumo diário de treonina (mg/frango), deposição diária de treonina (mg/frango) e manutenção diária de treonina (mg/frango) de frangos de corte, aos 28, 35 e 42 dias de idade, alimentados com dietas com L- treonina-biomassa 80%. 103

Tabela 12. Parâmetros estimados linear e platô quadrático para ganho diário de peso corporal, conversão alimentar, eficiência alimentar e deposição diária de treonina de frangos de corte de 22 a 42 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%. 104

Tabela 13. Exigências de treonina de acordo com a linha quebrada platô linear (BL), linha tracejada quadrática-platô (BLq) e primeira interceptação de BLq nos modelos de platô BL em mg/frango por dia e % para ganho de peso diário, conversão alimentar relação, eficiência alimentar e deposição diária de treonina de frangos de corte de 22 a 42 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%. 105

Tabela 14. Avaliação in vivo da composição corporal de frangos de corte machos aos 42 dias de idade alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%. . 108

Tabela 15. Parâmetros estimados de peso corporal, massa total, água corporal, proteína corporal e lipídio corporal de frangos de corte aos 42 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%. 109

Tabela 16. Exigências de treonina de acordo com os modelos de platô linear de linha quebrada (BL), platô quadrático de linha tracejada (BLq) e primeiro intercepto de BLq nos modelos de platô BL em mg/frango por dia e % para peso corporal, massa total, proteína corporal e água corporal de frangos de corte aos 42 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%..... 110

Tabela 17. Rendimento de carcaça de frangos de corte machos aos 42 dias de idade alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%..... 112

Tabela 18. Parâmetros estimados linear e quadrático-platô para corpo, carcaça, peito, coxa+coxa, asa e gordura abdominal em jejum de frangos de corte aos 42 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%. 113

Tabela 19. Exigências de treonina de acordo com os modelos de platô linear de linha quebrada (BL), platô quadrático de linha quebrada (BLq) e primeira interceptação de BLq nos modelos de platô BL em mg/frango por dia e % para corpo em jejum, carcaça, peito, coxa+ sobrecoxa, asa e gordura abdominal de frangos de corte de 22 a 42 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80% 114

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

Figura 1. Vias do metabolismo da treonina. Cofatores: Piridoxal (B6); dinucleotídeo de nicotinamida adenina (NAD) (Adaptado de Davis e Austic, 1982)..... 8

CAPÍTULO II – Digestibilidade de fontes de treonina para frangos de corte

Figura 1. Relação entre ingestão e digestão até o íleo terminal para treonina em frangos de corte alimentados com diferentes concentrações de treonina. ○, L-treonina-biomassa 80%; ●, L-treonina 98,5%; _____, estimativa de L-treonina-biomassa 80%; , estimativa de L-treonina 98,5%. 29

Figura 2. Relação entre ingestão e digestão até o íleo terminal para treonina em frangos de corte alimentados com diferentes concentrações de treonina. ○, L-treonina-biomassa 80%; ●, L-treonina 98,5%; _____, estimativa de L-treonina-biomassa 80%; , estimativa de L-treonina 98,5%. 32

CAPÍTULO III – Biodisponibilidade relativa de L-treonina-biomassa 80% e L-treonina 98,5% para frangos de corte nas fases de 1 – 21 e de 22 – 42 dias de idade

Figura 1. Conversão alimentar de frangos de corte alimentados com dietas com L-treonina biomassa 80% e L-treonina 98,5%. A (1 – 21 dias de idade), B (22 – 42 dias de idade), preenchimento preto (L-Treonina-Biomassa 80%) e preenchimento branco (L-Treonina 98,5)..... 52

Figura 2. Biodisponibilidade relativa de L-treonina-biomassa 80% e L-treonina 98,5% para eficiência de utilização de treonina com base no modelo de razão de inclinação. ♦, dieta basal; ●, L-treonina-biomassa 80%; ○, L-treonine 98,5%; — . — . — , estimativa L-treonina-biomassa 80%; - - - - - , estimativa L-treonina 98,5%. 59

Figura 3. Biodisponibilidade relativa de L-treonina-biomassa 80% e L-treonina 98,5% para eficiência de utilização de treonina com base no modelo de razão de inclinação. ♦, Dieta basal; ●, L-treonina-biomassa 80%; ○, L-Treonina 98,5%; — . — . — , Estimativa de L-treonine-biomassa 80%; - - - - - , Estimativa de L-treonina 98,5%. 66

CAPÍTULO IV - Resposta dietética da treonina sobre o desempenho, rendimento de carcaça e composição corporal de frangos de corte

Figura 1. Relação entre consumo de treonina (mg/ave por dia) e ganho de peso diário. _____ Valores previstos usando o modelo de linha tracejada (BL). Valores previstos usando modelo quadrático de linhas tracejadas (BLq). ● Primeira

interceptação dos modelos BL+BLq de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%. 95

Figura 2. Relação entre consumo de treonina (mg/ave por dia) e conversão alimentar. _____ Valores previstos usando o modelo de linha tracejada (BL). Valores previstos usando modelo quadrático de linhas tracejadas (BLq). ● Primeira interceptação dos modelos BL+BLq de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%. 96

Figura 3. Relação entre consumo de treonina (mg/ave por dia) e deposição diária de treonina. _____ Valores previstos usando o modelo de linha tracejada (BL). Valores previstos usando modelo quadrático de linhas tracejadas (BLq). ● Primeira interceptação dos modelos BL+BLq de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%. 96

Figura 4. Relação entre consumo de treonina (mg/ave por dia) e ganho de peso diário (g/frango por dia). _____ Valores previstos usando o modelo de linha tracejada (BL). Valores previstos usando modelo quadrático de linhas tracejadas (BLq). ● Primeira interceptação dos modelos BL+BLq de frangos de corte de 22 a 42 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%. 106

Figura 5. Relação entre consumo de treonina (mg/ave por dia) e conversão alimentar. _____ Valores previstos usando o modelo de linha tracejada (BL). Valores previstos usando modelo quadrático de linhas tracejadas (BLq). ● Primeira interceptação dos modelos BL+BLq de frangos de corte de 22 a 42 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%. 106

Figura 6. Relação entre consumo de treonina (mg/ave por dia) e deposição diária de treonina (g/ave por dia). _____, Valores previstos usando o modelo de linha tracejada (BL). , Valores previstos usando modelo quadrático de linhas tracejadas (BLq). ● Primeira interceptação dos modelos BL+BLq de frangos de corte de 22 a 42 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%. 107

LISTA DE ABREVIATÖES**A**

AA, aminoácido

B

BL, broken-line linear

BLq, broken-line com ascendência
quadrática**C**

CA, conversão alimentar

CR, consumo de ração

D

DB, dieta basal

DIA, digestibilidade ileal aparente

DIP, dieta isenta de proteína

G

GP, ganho de peso

L

Lys, lisina

M

Met, Metionina

MS, matéria seca

N

N, nitrogênio

P

PB, proteína bruta

PE, perda endógena

R

RBV, biodisponibilidade relativa

SSID, digestibilidade ileal
estandardizada**T**

Thr, treonina

B β , inclinação β_{sX1} , inclinação Thr 98,5% β_{tX2} , inclinação Thr 80% λ λ , ponto de quebra Ψ Ψ , intercepto

DIGESTIBILIDADE, BIODISPONIBILIDADE E EXIGÊNCIA DE L-TREONINA PARA FRANGOS DE CORTE

RESUMO

Objetivou-se com esta pesquisa: 1) determinar a digestibilidade da L-treonina-biomassa 80% para frangos de corte; 2) estimar a biodisponibilidade da L-treonina-biomassa 80% em relação a L-treonina 98,5% nas fases de 1 – 21 e de 22 - 42 dias de idade; 3) determinar a exigência de L-treonina-biomassa 80% para frangos de corte nas fases de 1 - 21 e de 22 – 42 dias de idade. Para atender o objetivo 1, foram adotados dois métodos para avaliar a digestibilidade, o método da “diferença ou substituição” e o método direto. Para o objetivo 2 foram realizados dois ensaios concomitantes considerando as fases de 1 a 21 e de 22 a 42 dias de idade. Os métodos de avaliação utilizados foram o método da comparação direta e, a razão de inclinação. No que se refere ao objetivo 3, ensaio de exigência de L-treonina-biomassa 80% na fase de 1 – 21 dias de idade foram estabelecidos seis tratamentos de treonina correspondendo aos níveis de 5,96; 6,81; 7,66; 8,52; 9,37 e 10,22 g/kg de ração. Os tratamentos foram distribuídos em delineamento inteiramente ao acaso com 10 repetições de 30 aves cada. Para a fase de 22 – 42 dias de idade, foram considerados seis tratamentos de treonina, correspondendo aos níveis de 5,11; 6,08; 6,84; 7,59; 8,35 e 9,11 g/kg de ração. Os tratamentos foram distribuídos em delineamento inteiramente ao acaso com 10 repetições de 20 aves cada. Considerando as fases de 1 – 21 e de 22 – 42 dias de idade, a biodisponibilidade relativa (RBV) entre as fontes de L-treonina de biomassa 80% e L-treonina 98,5%, foi calculada em 102% e 98% para as variáveis de desempenho, respectivamente. Para as variáveis de composição corporal, a RBV foi de 100% e 96%, respectivamente. Já para as variáveis de rendimento de carcaça, a RBV foi de 99%. A dieta basal (DB) reduziu significativamente o desempenho dos animais em ambas as fases de produção. A análise de contraste entre os tratamentos com suplementação de L-treonina-biomassa 80% e a DB demonstrou que a limitação do aminoácido estudado foi alcançada. As concentrações de Thr na dieta para a máxima resposta de frangos de corte nas fases de 1 a 21 dias de idade e de 22 a 42 dias de idade foram 0,768% e 0,704, respectivamente.

Palavras-chave: Biodisponibilidade, composição corporal, desempenho, digestibilidade

DIGESTIBILITY, BIOAVAILABILITY AND L-THREONINE REQUIREMENT FOR BROILER CHICKENS

ABSTRACT

The objectives of this research were: 1) determine the digestibility of L-threonine-biomass 80% for broiler chickens; estimate the bioavailability of L-threonine-biomass in relation to L-threonine 98,5% in the stages of 1 – 21 and 22 - 42 days of age; 3) determine the requirement of L-threonine-biomass 80% for broiler chickens in the stages of 1 - 21 and 22 – 42 days of age. To achieve objective 1, two methods were adopted to evaluate digestibility, the “difference or substitution” method and the direct method. For objective 2, two concomitant trials were carried out considering the phases from 1 to 21 and from 22 to 42 days of age. The direct comparison and slope ratio methods were used for evaluation. With regard to objective 3, L-threonine-biomass 80% requirement test in the phase from 1 to 21 days of age, six treatments were required corresponding to levels of 5.96, 6.81, 7.66, 8.52, 9.37 and 10.22 g of Thr per kg of feed. The treatments were distributed in a randomized design with 10 replications of 30 birds each. For the 22 – 42 days of age phase, six threonine treatments were considered, corresponding to levels of 5.11, 6.08, 6.84, 7.59, 8.35 and 9.11 g/kg of feed. The treatments were distributed in a completely randomized design with 10 replications of 20 birds each. Considering the phases of 1 – 21 and 22 – 42 days of age, the RBV between the biomass L-threonine sources 80% and L-threonine 98,5%, was calculated at 102% and 98% for the performance variables, respectively. For the body composition variables, the RBV was 100% and 96%, respectively. For carcass yield variables, the RBV was 99%. DB significantly reduced animal performance in both production phases. The contrast analysis between treatments with 80% L-threonine-biomass supplementation and DB demonstrated that the limitation of the studied AA was achieved. Dietary Thr concentrations for the maximum response of broiler chickens in the phases from 1 to 21 days of age and from 22 to 42 days of age were 0.768% and 0.704, respectively.

Keywords: Bioavailability, body composition, performance, digestibility

INTRODUÇÃO

O setor avícola está em constante evolução, impulsionado pelo desejo de resultados maiores no desempenho e eficiência de utilização dos nutrientes. Esse desejo surge da necessidade de aumentar a produção de carne de frango para atender a demanda populacional. Em 2023, o consumo per capita de carne de frango foi 45,1 kg (Associação Brasileira de Proteína Animal - ABPA, 2024). Desta forma, conhecer a exigência nutricional desses animais, e buscar alternativas para potencializar a produção é de suma importância.

A Thr é um aminoácido (AA) essencial para ave. Para frangos de corte, é considerado o terceiro aminoácido limitante em dietas à base de milho e farelo de soja. Esse AA desempenha um papel importante no crescimento, desenvolvimento muscular e na manutenção da integridade intestinal (MIN *et al.*, 2017). A L-treonina não é sintetizada pelos animais, necessitando ser suplementada nas dietas. Nesse sentido, conhecer a digestibilidade das fontes desse AA fornecidas nas dietas se torna fundamental.

A digestibilidade refere-se à fração de um nutriente que foi absorvida e está disponível para uso animal (RAVINDRAN *et al.*, 2017). A digestibilidade de aminoácidos pode variar dependendo da fonte proteica e do processo de fabricação da fonte. Ingredientes com baixa digestibilidade afetam, por consequência, a biodisponibilidade do nutriente. A biodisponibilidade de um nutriente se refere à proporção do mesmo que foi absorvida, metabolizada e utilizada para as funções necessárias pelos animais (RAVINDRAN *et al.*, 2005).

A produção de Thr é realizada principalmente via fermentação microbológica, como por exemplo, *Escherichia coli*, *Serratia marcescens*, *Brevibacterium flavum* e *Corynebacterium glutamicum* (KIM *et al.*, 2004) em meio de cultura contendo carbono, nitrogênio e fontes de enxofre e fósforo (LEUCHTENBERGER *et al.*, 2005).

Após a fermentação, o AA é purificado, e a primeira etapa desse processo é a separação da biomassa proveniente da fermentação. Esta biomassa resultante do processo de fermentação, é um produto rico em proteína, energia e AAs essenciais e não essenciais (ALMEIDA *et al.*, 2014). Utilizar essa biomassa rica em AAs antes da extração do AA específico pode ser uma opção viável para a substituição de fontes cristalinas e para diminuir insumos na fabricação de ração (HERMANN, 2003) inclusive, para frangos de corte.

Objetivou-se com esta pesquisa: 1) determinar a digestibilidade da L-treonina-biomassa 80% para frangos de corte; 2) estimar a biodisponibilidade da L-treonina-biomassa 80% em relação a L-treonina 98,5% nas fases de 1 - 21 e de 22 - 42 dias de idade; 3) determinar a exigência de L-treonina-biomassa 80% para frangos de corte nas fases de 1 - 21 e de 22 – 42 dias de idade.

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

Aminoácidos industriais e naturais na alimentação animal

A demanda por alimento aumenta conforme a população cresce. Previsões mostram que até 2030, o consumo per capita de carne de aves pode chegar a 17,2 kg (STATISTA, 2019). De acordo com a ABPA, (2024) o consumo per capita de carne de frango no Brasil foi de 45,1 no ano de 2023. O aumento na produção animal para atender a demanda dos consumidores possui papel importante na economia, além de proporcionar a segurança alimentar. Entretanto, ao mesmo tempo que se tem a preocupação para atender a demanda por alimentos, deve-se levar em consideração a sustentabilidade ambiental.

Durante muito tempo as dietas para aves foram formuladas com base na proteína bruta. O excesso de proteína ou o desequilíbrio de aminoácidos nas dietas de frangos de corte promove uma carga excessiva de aminoácidos na circulação sanguínea que, exigindo gasto extra de energia para o metabolismo e a excreção de nitrogênio na forma de ácido úrico (OLIVEIRA NETO; Will OLIVEIRA, 2009). Este nitrogênio em excesso pode ocasionar danos ao meio ambiente (EMMER; BAKER, 1997). Esse fato se agrava devido ao significativo volume de dejetos gerado pela produção animal. É nesse contexto que surge o conceito da proteína ideal.

A proteína ideal se baseia na mistura de AAs para atender à exigência de manutenção e para produção (MITCHELL, 1964). De acordo com Emmer e Baker, (1997), para atender o conceito da proteína ideal a mistura de aminoácidos deve ser totalmente disponível e digestível para ser capaz de fornecer sem excessos nem deficiências as exigências dos animais. Assim, os aminoácidos devem estar presentes na dieta exatamente nos níveis exigidos pelos animais. Entretanto, a aplicação deste conceito não seria possível sem a produção industrial e natural de aminoácidos.

A suplementação de aminoácidos em dietas para aves é um meio eficaz para reduzir a proteína bruta e garantir a produção de alimentos mais sustentável e eficiente. Foi demonstrado que a aplicação do conceito da proteína ideal reduziu a emissão de CO₂ no ciclo de produção de aves em 56%, 17% e 33% na Europa, América do Norte e América do Sul, respectivamente, em comparação com uma dieta não formulada com base na proteína ideal (LIMA, 2024).

Os AAs podem ser produzidos a partir de três métodos diferentes: extração de hidrolisados de proteínas, síntese química e processos microbianos envolvendo síntese enzimática e fermentação (D'ESTE *et al.*, 2018). Cada um desses processos possui vantagens e desvantagens.

A extração de hidrolisados de proteínas é relevante para a produção de L-aminoácidos específicos, como L-serina, L-prolina, L-hidroxi-prolina e L-tirosina, porém, este método não é adequado para a produção industrial em larga escala (LEUCHTENBERGER *et al.*, 2005). A principal vantagem do método de extração de hidrolisados é que permite a utilização de subprodutos e resíduos (BREUER *et al.*, 2004) que seriam descartados ou incinerados, contribuindo a redução da emissão de gases do efeito estufa. Em contrapartida, a principal vantagem se transforma também na principal desvantagem, uma vez que, o processo é altamente dependente da disponibilidade de subprodutos ricos em proteínas, o que torna o processo menos competitivo (SELLE *et al.*, 2020).

A síntese química é uma via clássica para produzir misturas racêmicas, como DL-metionina, que podem ser obtidas pela síntese de Strecker, proposta inicialmente em 1850 (D'ESTE *et al.*, 2018). A principal desvantagem deste método é a incapacidade de produzir seletivamente as formas D ou L de aminoácidos (GRÖGER, 2003). A produção industrial de DL-metionina utiliza matérias primas petroquímicas, como metil mercaptano, ácido cianídrico, acroleína e amônia (LEUCHTENBERGER *et al.*, 2005) que estão sujeitas a flutuação do mercado. Por ser o primeiro aminoácido limitante para aves alimentadas com dietas à base de milho e farelo de soja, é vista com particular importância.

Já o processo enzimático, se baseia na ação de uma ou mais enzimas para a produção de aminoácidos desejados. Para tanto, são utilizadas enzimas hidrolíticas, amônia liases e desidrogenases, em sua maioria obtidas dos

microrganismos como *Escherichia coli*, *Aspergillus oryzae*, *Pseudomonas* spp e *Corynebacterium* (SELLE *et al.*, 2020). A principal vantagem dessa abordagem é a possibilidade de produzir D e L-aminoácidos puros em altas concentrações com baixa produção de subprodutos (IKEDA, 2003). A principal desvantagem é o alto custo das enzimas, bem como a estabilidade limitada (LEUCHTENBERGER *et al.*, 2005). Nesse sentido, este método não é preferível para a produção em escala industrial de aminoácidos.

A maioria dos processos para produção industrial de aminoácidos é pela fermentação de microrganismos melhorados para converter o carbono dos carboidratos e o nitrogênio da amônia em aminoácidos específicos (SELLE *et al.*, 2020). Esta técnica possui boa relação custo-benefício e é um processo relativamente simples (LEUCHTENBERGER *et al.*, 2005). Para a fabricação do aminoácido por este método, um tanque de fermentação é carregado com o meio de cultura contendo uma fonte de carbono, bem como, fontes de nitrogênio, enxofre e fósforo e uma cultura da cepa de produção é adicionada no tanque (CHEN *et al.*, 2009). Após o processo de fermentação, ocorre a separação da biomassa, resultando na obtenção do aminoácido isolado.

No processo de purificação do aminoácido, resíduos de aminoácidos essenciais e não essenciais, e proteína bruta permanecem retidos na biomassa, tornando-a um subproduto rico, geralmente descartado (ALMEIDA *et al.*, 2014). A utilização do aminoácido e a biomassa antes do processo de extração do AA específico, em substituição a fontes cristalinas, pode ser considerada uma alternativa viável para a produção animal. Como é o caso da L-treonina 80%.

Digestibilidade e biodisponibilidade de aminoácidos

O valor biológico da proteína dos ingredientes é determinado pela disponibilidade total de aminoácidos. A biodisponibilidade de um aminoácido pode ser definida como aquele que pode ser digerido, absorvido e utilizado pelos animais (RAVINDRAN; BRYDEN, 1999). Portanto, descrever a qualidade dos ingredientes da dieta com base na quantidade de aminoácidos digestíveis, possibilita conhecer a quantidade de aminoácidos que realmente estão disponíveis para a manutenção e produção (LOW, 1982).

Para fornecer estimativas da disponibilidade de aminoácidos geralmente são considerados os ensaios de digestibilidade, pois esse ensaio, se aplica

diretamente ao animal e todos os aminoácidos podem ser medidos em um único ensaio (RAVINDRAN *et al.*, 2005).

A necessidade em conhecer a digestibilidade de ingredientes utilizados na alimentação animal, aumentou o desenvolvimento de ensaios rápidos para a obtenção dessas informações (LIKUSKI; DORRELL, 1978; SIBBALD, 1979). Estes ensaios possibilitaram a avaliação de rotina de ingredientes utilizados na alimentação animal, assim como, a publicação dos seus coeficientes de digestibilidade através do mesmo método ou de métodos adaptados (RAVINDRAN *et al.*, 2017).

Entretanto, nestes ensaios, a digestibilidade era determinada nas excretas de galos adultos. Espécies diferentes e, em diferentes estágios de produção, apresentam distinção nos coeficientes de digestibilidade de aminoácidos (BATAL; PARSONS, 2002) indicando que existe singularidade nos processos que ocorrem no momento da digestão, como por exemplo, o tempo de trânsito do alimento no trato gastrointestinal. Além disso, esses valores eram baseados na análise de excretas.

É certo que a avaliação da digestibilidade com base nas excretas é mais simples se comparada a análise baseada na digesta ileal, porque não exige o sacrifício dos animais (RAVINDRAN; BRYDEN, 1999). Entretanto, os coeficientes são modificados pela ação dos microrganismos cecais, tornando a análise com base na digesta ileal um método mais confiável para avaliar os coeficientes de digestibilidade de aminoácidos em aves (RAVINDRAN *et al.*, 2005).

De acordo com Mtei *et al.* (2019) um grande problema enfrentado pelos nutricionistas é a ampla variação nos valores da digestibilidade ileal que, além de ser reflexo da variação dos nutrientes, também é causada pela diferença nos procedimentos adotados nas diferentes estações de pesquisa. Esse fato destaca necessidade de padronizar os métodos de avaliação da digestibilidade de ileal de aminoácidos. Diferenças na formulação e mistura das dietas, alimentação, eutanásia das aves, coleta da digesta ileal e até mesmo no processamento e análise da digesta, podem influenciar nos valores de digestibilidade de aminoácidos (RAVINDRAN *et al.*, 2017).

Outro ponto que deve ser levado em consideração nos ensaios de digestibilidade são as perdas endógenas. Pesquisas sobre esse assunto se

provaram atraentes, uma vez que, ligam a fisiologia intestinal com a nutrição proteica. Há muito tempo já é conhecido a presença de substâncias não digeridas de origem endógena e a sua relevância para o valor biológico da proteína ingerida (MITCHELL, 1924).

Durante o processo de digestão, ocorre uma contínua entrada de proteínas endógenas, na forma de enzimas digestivas, bile, eliminação de muco e enterócitos descamados no lúmen do intestino. De acordo com Nasset e Jin Soon, (1961) a entrada de proteína endógena é estimada em até quatro ou cinco vezes a quantidade de proteína ingerida. Essas fontes endógenas se misturam com a proteína da dieta, são digeridas e os aminoácidos resultantes são reabsorvidos pelo animal (RAVINDRAN, 2021). Em aves, a quantidade de proteínas endógenas que são reabsorvidas é desconhecida. Em suínos, estima-se que 79% da secreção endógena é reabsorvida, porém, o grau de reabsorção varia de acordo com a proporção do componente endógeno e o ponto de entrada no intestino (SOUFFRANT *et al.*, 1993).

Portanto, o fluxo de proteína endógena quantificado no íleo terminal contempla o equilíbrio líquido entre a proteína ingerida e a perda endógena menos a absorção da proteína dietética e a reabsorção da proteína endógena. A porção endógena que não foi reabsorvida passa além do íleo e é referida como perdas inevitáveis e obrigatórias.

As perdas basais são influenciadas principalmente pela ingestão de ração e secundariamente pela composição das dietas. Essas duas frações são categorizadas como perdas basais (não específicas) e específicas. As perdas basais são definidas como as que independem do tipo de dieta e, representam as perdas mínimas que são esperadas em qualquer situação alimentar (RAVINDRAN, 2021). Já as perdas específicas são aquelas que dependem da composição da dieta, resultando da presença de fontes e quantidade de fibras e fatores antinutricionais, como fitato, inibidor de tripsina, lectinas etc. (MTEI *et al.*, 2019).

De acordo com Ravindran (2021) a quantificação precisa das perdas endógenas é importante para calcular a digestibilidade padronizada dos aminoácidos nos ingredientes, e são significativas no custo metabólico associado a síntese de proteínas no intestino. Assim, a mensuração das perdas endógenas permite uma melhor compreensão dos fatores causadores e

possibilita traçar estratégias eficazes para melhorar a eficiência de utilização de proteínas e aminoácidos.

Várias metodologias são utilizadas para quantificar as perdas basais em frangos de corte. Cada metodologia empregada, possui vantagens e limitações, do valor para a execução até a alteração das funções fisiológicas dos animais. Alguns exemplos das metodologias empregadas são: aves em jejum por 48h, alimentação com dieta isenta de proteínas, alimentação com dietas com níveis baixos de proteína, dieta isenta de proteínas suplementada com aminoácidos sintéticos, caseína enzimaticamente hidrolisada e pelo método da regressão (ADEDOKUN *et al.*, 2011; ADEOLA *et al.*, 2016; RAVINDRAN *et al.*, 2017).

As perdas endógenas de proteínas representam custos de manutenção de energia e proteínas para o animal. Nesse sentido, a quantificação dessas perdas é relevante para formulação de dietas que atendam a real exigência dos animais.

Caracterização, metabolismo e funções da treonina

O primeiro relato do efeito da Thr no desempenho animal data da década de 30. ROSE *et al.* (1935) evidenciaram que animais que consumiram dietas contendo α -amino- β -hidroxibutírico apresentaram maior desempenho do que aqueles que receberam dietas sem este composto. A Thr é caracterizada como um AA polar, de cadeia hidrofílica e baixo peso molecular. Contém 11,76% de N, dois átomos de carbono assimétricos e uma cadeia polar neutra, podendo formar ligações com água e hidrogênio, contribuindo com a solubilidade das proteínas (D'MELLO, 2003).

Por apresentar os átomos de carbono assimétricos, é possível apresentar quatro estereoisômeros: L e D treonina e L e D alotreonina (DE BLAS *et al.*, 2000). As formas de treonina com isômero D não têm atividade metabólica em animais domésticos, uma vez que, os animais não dispõem de isomerase capaz de transformar D em L-Treonina (D'MELLO, 2003). De acordo com Baker (1986) a DL-treonina deve fornecer não mais do que 25% de atividade biológica. Reafirmando a importância dos processos de fabricação de L-treonina.

O metabolismo de AA envolve a síntese e degradação de proteínas, incorporação de nitrogênio de aminoácidos em ácido úrico, conversão de esqueletos de carbono de AA em glicose, gordura, energia e a formação de

derivados proteicos. O metabolismo da Thr é realizado pelas enzimas treonina desidratase, treonina desidrogenase e treonina aldolase (Figura 1). De acordo com Davis e Austic, (1982) as maiores expressões da treonina desidratase e aldolase em frangos de corte são no fígado e musculo, respectivamente. Enquanto a maior expressão da treonina desidratase é no pâncreas.

O esqueleto de carbono advindo da L-Thr por meio da ação de treonina desidratase pode ser usado como fonte de energia ou para a produção de glicose. Já a glicina, obtida pela por meio da ação da treonina desidrogenase e pela treonina aldolase será utilizada para a síntese proteica e síntese de serina, ácido úrico, sais biliares e glutatona (KIDD; KERR, 1996a).

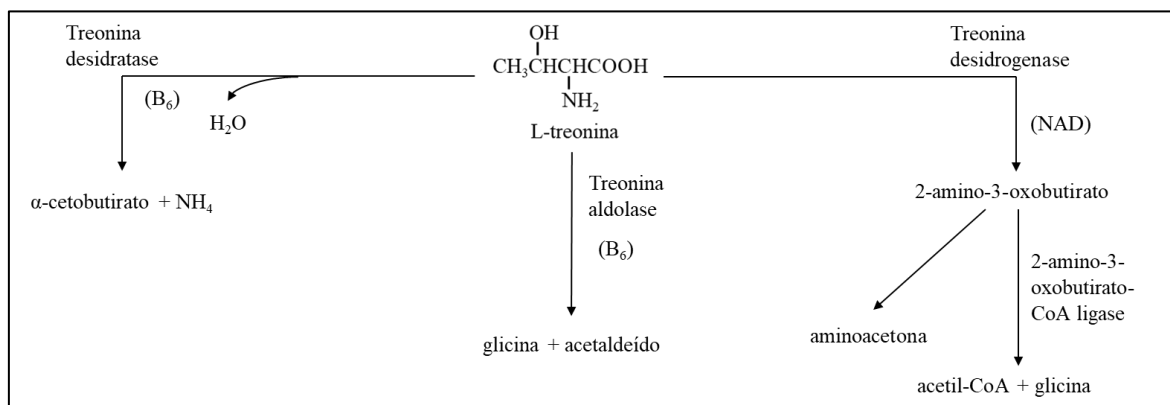


Figura 1. Vias do metabolismo da treonina. Cofatores: Piridoxal (B6); dinucleotídeo de nicotinamida adenina (NAD) (Adaptado de Davis e Austic, 1982).

Desvios da Thr para rotas de completa oxidação, produção de glicose ou glicina, reduz a disponibilidade de Thr para a síntese proteica (EGAN *et al.*, 1983). Desta forma, quando maior a concentração de proteína na dieta, maior a exigência de Thr para frangos de corte. Chrystal *et al.* (2020) relataram que a concentração plasmática sistêmica de Thr livre aumentou 66% (1027 vs 619) em frangos de corte aos 34 dias de idade quando a PB na dieta foi reduzida de 210 para 165 g/kg. Isso ocorre porque o excesso de proteína na dieta promover o aumento da atividade da enzima treonina desidrogenase e, conseqüentemente, o aumento da conversão de Thr em glicina (DAVIS; AUSTIC, 1997). A excreção de nitrogênio em aves ocorre na forma de ácido úrico e, a glicina é importante para a formação do ácido úrico. Quando ocorre a deficiência de glicina na dieta,

a Thr é catabolizada por meio da treonina desidrogenase e aldolase para a obtenção deste AA.

A Thr representa aproximadamente 4,2% da proteína da carcaça (ÇİFTÇİ; CEYLAN, 2004) e 4,8% da proteína das penas (STILBORN *et al.*, 1997). Também é encontrada nas células da mucosa intestinal, muco e enzimas digestivas (GUOYAO WU, 1998).

Pesquisas anteriores demonstraram que a suplementação de Thr melhora o desempenho de frangos de corte (CORZO *et al.*, 2007; KIDD; KERR, 1997; SIGOLO *et al.*, 2017). Além disso, a Thr está envolvida na resposta imune e a integridade da mucosa intestinal. Sigolo *et al.* (2017) relataram que o aumento da suplementação de L-treonina aumentou a resposta imune contra a o vírus da doença de Newcastle em frangos de corte. Najafi *et al.* (2017) relaram que a suplementação com L-treonina melhorou a altura e largura das vilosidades e a espessura muscular do duodeno em frangos de corte.

Modelos matemáticos para descrever as exigências nutricionais de aves

Para auxiliar na tomada de decisão e definição de níveis de aminoácidos, bem como os produtos disponíveis para a composição de dietas para aves, pode ser empregado o uso de modelagem. De acordo com Rondón *et al.* (2002) essa metodologia utiliza conceitos e conhecimentos transformados em equações matemáticas a serem interpretados por meio de processos lógicos. Os modelos matemáticos vêm sendo utilizados para descrever as exigências nutricionais, bem como, o crescimento, que são de grande interesse na nutrição animal (SANTOS *et al.*, 2020).

A aplicação de modelos matemáticos na nutrição de aves permite calcular a ingestão ideal para o desempenho médio e superior da população, ao mesmo tempo que determina o ótimo econômico e a proporção da população que será otimizada (SILVA *et al.*, 2014).

Modelos matemáticos de natureza linear e não linear podem ser utilizados para descrever as respostas dos animais em função dos níveis de aminoácidos fornecidos nas dietas. De acordo com (SANTOS *et al.*, 2020) os modelos mais comumente utilizados na experimentação avícola são os de natureza linear.

De acordo com Silva *et al.* (2020) as respostas obtidas em experimentos pelo método de dose resposta ao fornecimento do nutriente avaliado para grupos de animais são mais bem descritas por modelos não lineares devido à natureza curvilínea causada pela diferença entre os animais da população. Estudos sugerem que modelos curvilíneos são mais indicados para descrever as respostas dos animais ao fornecimento do nutriente (CURNOW, 1973; FISHER *et al.*, 1973; BROSSARD *et al.*, 2009).

Diversos modelos não lineares podem ser utilizados para modelar as respostas de aves a partir de experimentos dose resposta, como por exemplo, o Michaelis – Menten (MICHAELIS *et al.*, 1913); cinética de saturação (MORGAN *et al.*, 1975); linha tracejada de platô linear (**BL**) e linha tracejada com ascendência curvilínea (**BLq**) (ROBBINS *et al.*, 2006); modelos logísticos: LogI (WARE *et al.*, 2018); LogII (GAHL *et al.*, 1991); Sig (ROBBINS *et al.*, 1979) e monomolecular (KEBREAB *et al.*, 2008).

De acordo com Silva *et al.*, (2020) os modelos de linha tracejada de platô linear e linha tracejada com ascendência curvilínea apresentam bom ajuste para modelar o crescimento de frangas. Os modelos de linha tracejada e linha tracejada com ascendência curvilínea são relativamente simples, fornece uma função que descreve a resposta à dose do nutriente e fornece uma estimativa do ponto de quebra e erro padrão, interpretado como a exigência do nutriente (ROBBINS *et al.*, 2006).

Na regressão linear e de linha quebrada é presume-se que a resposta do animal à dose do nutriente avaliado é linear, quando geralmente não é, uma vez que a taxa de mudança em função da dose do nutriente diminui à medida que a dose se aproxima da sua exigência. Dependendo do conjunto de dados, a regressão de linha tracejada é suficiente para a interpretação das respostas (BRAY, 1969). Para outros conjuntos de dados à medida que ocorre o aumento dos níveis do nutriente avaliado, a resposta é claramente curvilínea, nesse caso, a recomendação com base no ponto de quebra da linha tracejada subestimar a exigência (FISHER *et al.*, 1973).

Para dados como essas características, é necessário um modelo que inclua um componente quadrático e a recomendação ótima pode ser considerada como aquela apresentada no ponto de primeira intersecção entre os modelos de linha tracejada de platô linear e linha tracejada com ascendência

curvilínea. A máxima resposta em função da ingestão ótima baseada no valor calculado na abcissa que corresponde a primeira intersecção entre os modelos de platô linear e quadráticos, foi testado e aceito anteriormente por outros pesquisadores (ROBBINS *et al.*, 2006; SILVA *et al.*, 2019). A recomendação intermediária entre a predição mínima no modelo de platô linear e a máxima no modelo de ascendência quadrática, permite uma faixa de segurança para que os nutricionistas possam considerar nas formulações o preço e os ingredientes disponíveis (BAKER *et al.*, 2002; SILVA *et al.*, 2019).

REFERÊNCIAS

- ADEDOKUN, S. A.; ADEOLA, O.; PARSONS, C. M.; LILBURN, M. S.; APPLGATE, T. J. Factors affecting endogenous amino acid flow in chickens and the need for consistency in methodology. **Poultry Science**, v. 90, n. 8, p. 1737–1748, 2011b.
- ADEOLA, O.; XUE, P. C.; COWIESON, A. J.; AJUWON, K. M. Basal endogenous losses of amino acids in protein nutrition research for swine and poultry. **Animal Feed Science and Technology**, [s. l.], v. 221, p. 274–283, 2016.
- ALMEIDA, F. N.; SULABO, R. C.; STEIN, H. H. Amino acid digestibility and concentration of digestible and metabolizable energy in a threonine biomass product fed to weanling pigs. **Journal of Animal Science**, [s. l.], v. 92, n. 10, p. 4540–4546, 2014.
- BAKER, D. H. Problems and Pitfalls in Animal Experiments Designed to Establish Dietary Requirements for Essential Nutrients. **J. Nutr.** [S. l.], 116: 2339-2349, 1986.
- BAKER, D. H.; BATAL, A. B.; PARR, T. M.; AUGSPURGER, N. R.; PARSONS, C. M. Ideal Ratio (Relative to Lysine) of Tryptophan, Threonine, Isoleucine, and Valine for Chicks During the Second and Third Weeks Posthatch. **Poultry Science** [S. l.], v. 81 p. 485-494, 2002.
- BATAL, A. B.; PARSONS, C. M. Effects of age on nutrient digestibility in chicks fed different diets. **Poultry Science**, [s. l.], v. 81, n. 3, p. 400–407, 2002.
- BRAY DJ. Requirements For Limiting Amino Acids—The Basal Diet And The Requirements For Isoleucine, Lysine and Tryptophan. [s. l.], p. 674–684, 1969.
- BREUER, M.; DITRICH, K.; HABICHER, T.; HAUER, B.; KESSELER, M.; STÜRMER, R.; ZELINSKI, T. Industrial methods for the production of optically active intermediates. **Industrial Chemistry**, [S. l.], v. 43, p. 788 – 824, 2004.
- BROSSARD, L.; DOURMAD, J. Y.; RIVEST, J.; VAN MILGEN, J. Modelling the variation in performance of a population of growing pig as affected by lysine supply and feeding strategy. **Animal**, [s. l.], v. 3, n. 8, p. 1114–1123, 2009.
- CHEN, N.; HUANG, J.; FENG, Z. Bin; YU, L.; XU, Q. Y.; WEN, T. Y. Optimization of fermentation conditions for the biosynthesis of L-threonine by escherichia coli. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, [s. l.], v. 158, n. 3, p. 595–604, 2009.
- CHRYSTAL, P. V.; MOSS, A. F.; KHODDAMI, A.; NARANJO, V. D.; SELLE, P. H.; LIU, S. Y. Impacts of reduced-crude protein diets on key parameters in male

broiler chickens offered maize-based diets. **Poultry Science**, [s. l.], v. 99, n. 1, p. 505–516, 2020.

ÇİFTÇİ, İ.; CEYLAN, N. Effects of dietary threonine and crude protein on growth performance, carcass and meat composition of broiler chickens. **British Poultry Science**, [s. l.], v. 45, n. 2, p. 280–289, 2004.

CORZO, A.; KIDD, M. T.; DOZIER, W. A.; PHARR, G. T.; KOUTSOS, E. A. Dietary threonine needs for growth and immunity of broilers raised under different litter conditions. **Journal of Applied Poultry Research**, [s. l.], v. 16, n. 4, p. 574–582, 2007.

CURNOW, R. N. A smooth population response curve based on an abrupt threshold and plateau model for individuals. **Biometrics**, [S. l.], v. 29, n. 1, p. 1 – 10, 1973.

D'MELLO J.P.F. **Amino Acids in Animal Nutrition Second Edition**. Cambridge: [s. n.], 2003.

DAVIS, A. J.; AUSTIC, R. E. Nutrient Metabolism Dietary Protein and Amino Acid Levels Alter Threonine Dehydrogenase Activity in Hepatic Mitochondria of *Gallus domesticus*. **J. Nutr.** [S. l.], v. 127, p. 738–744 1997.

DAVIS, A. T.; AUSTIC, R. E. Threonine-Degrading Enzymes in the Chicken. **Poultry Science**, [S. l.], v. 61, p. 2107–2111 1982.

DE BLAS, C.; CARABAÑO, R.; GARCIA RUIZ, A. I. Necesidades en treonina en animales monogástricos. **Curso de Especialización**, [s. l.], v. 16, p. 1 – 23, 2000.

D'ESTE, M.; ALVARADO-MORALES, M.; ANGELIDAKI, I. Amino acids production focusing on fermentation technologies – A review. **Biotechnology Advances** [S. l.], v. 36, p. 18 – 25, 2018.

EGAN, A. R.; MACRAE, J. C.; LAMB, C. S. Threonine metabolism in sheep. **British Journal of Nutrition**, [s. l.], v. 49, n. 3, p. 373–383, 1983.

EMMER, J. L.; BAKER, D. H. Use of the ideal protein concept for precision formulation of amino acid levels in broiler diets' description of problem. **Applied Poultry Science**, [S. l.], v. 6, p. 462 – 470, 1997.

FISHER, C.; MORRIS, T. R.; JENNINGS, R. C. A model for the description and pre-diction of the response of laying hens to amino acid intake. **British Poultry Science**, [s. l.], v. 14, n. 5, p. 469–484, 1973.

GAHL, M. J.; FINKE, M. D.; CRENSHAW, T. D.; BENEVENGA, N. J. Proteins and amino acids use of a four-parameter logistic equation to evaluate the response

of growing rats to ten levels of each indispensable amino acid. **The Journal of Nutrition**. [S. l.], v. 121, n. 11, p.1720 – 1729, 1991.

GRÖGER, H. Catalytic enantioselective strecker reactions and analogous syntheses. **Chemical Reviews**, [s. l.], v. 103, n. 8, p. 2795 - 2827, 2003.

GUOYAO WU. Intestinal mucosal amino acid catabolism. **J. Nutr.** v. 128, p. 1249 - 1252, 1998.

H MITCHELL, B. H. A method of determining the biological value of protein. **Journal Biological Chemistry**. [s. l.], v. 58, n. 3, p. 873 - 903, 1924.

HERMANN, T. Industrial production of amino acids by coryneform bacteria. **Journal of Biotechnology**. [s. l.], v. 104, n. 1–3, p. 155–172, 2003.

IKEDA, M. **Amino Acid Production Processes**. Tokyo, 2003.

KEBREAB, E.; FRANCE, J.; KUHI, H. D.; LOPEZ, S. A comparative evaluation of functions for partitioning nitrogen and amino acid intake between maintenance and growth in broilers. **Journal of Agricultural Science**, [s. l.], v. 146, n. 2, p. 163–170, 2008.

KIDD, M. T.; KERR, B. J. L-Threonine for poultry: A review. [S. l.], **Poultry Science**, v. 5, p. 358 - 367, 1996.

KIDD, M. T.; KERR, B. J. Threonine responses in commercial broilers at 30 to 42 days. **Journal of Applied Poultry Research**, [s. l.], v. 6, n. 4, p. 362–367, 1997.

KIDD, M. T.; KERR, B. J.; ANTHONY, N. B. Dietary Interactions between Lysine and Threonine in Broilers. **Poultry Science**, [s. l.], v. 76, n. 4, p. 608–614, 1997.

KIDD, M. T.; LERNER, S. E.; ALLARD, J. E.; RA02, S. K.; HALLEY, J. T. Threonine needs of finishing broilers: growth, carcass, and economic responses. *Applied Poultry Science*, [S. l.], v. 8, p. 160 – 169, 1999.

KIM, Y.-H.; PARK, J.-S.; CHO, J.-Y.; MYUNG CHO, K.; PARK, Y.-H.; LEE, J. Proteomic response analysis of a threonine-overproducing mutant of *Escherichia coli*. **J. Biochem.** [S. l.], n. 381, p. 823 - 829, 2004.

LEUCHTENBERGER, W.; HUTHMACHER, K.; DRAUZ, K. Biotechnological production of amino acids and derivatives: Current status and prospects. **Applied Microbiology and Biotechnology**, [s. l.], v. 69, n. 1, p. 1–8, 2005.

LIKUSKI, H. J. A.; DORRELL, H. G. A bioassay for rapid determinations of amino acid availability values. **Poultry Science**, [S. l.] v. 57, n. 6, p. 1658 - 1660, 1978.

LOW, A. G. Digestibility and availability of amino acids from feedstuffs for pigs: a review. **Livestock Production Science**, [S. I.], v. 9, p. 511 – 520, 1982.

MICHAELIS, V. L.; MAUD MENTEN, M. L.; GOODY, R. S.; JOHNSON, K. A. The Kinetics of Invertase Action. **J. Chem. Soc.** [S. I.], v. 55, p. 1 – 31, 1913.

MIN, Y. N.; LIU, S. G.; QU, Z. X.; MENG, G. H.; GAO, Y. P. Effects of dietary threonine levels on growth performance, serum biochemical indexes, antioxidant capacities, and gut morphology in broiler chickens. **Poultry Science**, [s. I.], v. 96, n. 5, p. 1290–1297, 2017.

MITCHELL, H. H.; BERT, M. H. The determination of metabolic fecal nitrogen. **The Journal of Nutrition**, [S. I.], v. 20, p. 483 – 497, 1953.

MORGAN, P. H.; MERCER, L. P.; FLODIN, N. W. General model for nutritional responses of higher organisms. **Proc. Nat. Acad. Sci.**, [S. I.], v. 72, n. 11, p. 4327-4331, 1975.

MTEI, A. W.; ABDOLLAHI, M. R.; SCHREURS, N.; GIRISH, C. K.; RAVINDRAN, V. Dietary inclusion of fibrous ingredients and bird type influence apparent ileal digestibility of nutrients and energy utilization. **Poultry Science**, [s. I.], v. 98, n. 12, p. 6702–6712, 2019.

NAJAFI, R.; AHMAR, R.; TAZEHKAND, G. N. Effect of different dietary threonine levels on optimal growth performance and intestinal morphology in 1-14 days old ross 308 broilers. **Revista Brasileira de Ciencia Avicola / Brazilian Journal of Poultry Science**, [s. I.], v. 19, n. Special Issue, p. 59–66, 2017.

NASSET E.S.; JIN SOON JU. Mixture of Endogenous and Exogenous Protein in the Alimentary Tract. **The Journal of Nutrition**, [S. I.], v. 74, n. 61, p. 461 – 465, 1961.

RAVINDRAN, V. Progress in ileal endogenous amino acid flow research in poultry. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, [S. I.], v. 12, n. 5, p. 1 – 12, 2021.

RAVINDRAN, V.; ADEOLA, O.; RODEHUTSCORD, M.; KLUTH, H.; VAN DER KLIS, J. D.; VAN EERDEN, E.; HELMBRECHT, A. Determination of ileal digestibility of amino acids in raw materials for broiler chickens – Results of collaborative studies and assay recommendations. **Animal Feed Science and Technology**, [s. I.], v. 225, p. 62–72, 2017.

RAVINDRAN, V.; BRYDEN, W. L. Amino acid availability in poultry - In vitro and in vivo measurements. **Australian Journal of Agricultural Research**, [s. I.], v. 50, n. 5, p. 889–908, 1999.

RAVINDRAN, V.; HEW, L. I.; RAVINDRAN, G.; BRYDEN, W. L. Apparent ileal digestibility of amino acids in dietary ingredients for broiler chickens. **Animal Science**, [s. l.], v. 81, n. 1, p. 85–97, 2005.

ROBBINS, K. R. Threonine Requirement of the Broiler Chick as Affected by Protein Level and Source. **Poultry Science**, [S. l.], v. 66, p. 1531 – 1534, 1986.

ROBBINS, K. R.; NORTON, H. W.; BAKER, A. H. Estimation of Nutrient Requirements from Growth Data. **J. Nutr.** [S. l.], v. 109, p. 1710 – 1714, 1979.

ROBBINS, K. R.; SAXTON, A. M.; SOUTHERN, L. L. Estimation of nutrient requirements using broken-line regression analysis. **J. Anim. Sci.** [S. l.], v. 84, p. 155 – 165, 2006.

OLIVEIRA NETO, A. R; OLIVEIRA, W. P. Revista Brasileira de Zootecnia Aminoácidos para frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia** [s. l.], v. 38, p. 205 – 208, 2009.

RONDÓN, E. O. O.; MURAKAMI, A. E.; SAKAGUTI, E. S. Modelagem computacional para produção e pesquisa em avicultura. **Revista Brasileira de Ciencia Avicola**, [s. l.], v. 4, n. 1, 2002.

ROSE, W. C.; MCCOY, R. H.; MEYER, C. E.; CARTER, H. E.; WOMACK, M.; MERTZ, E. T. Isolation of the “unknown essential” present in proteins in “PROCEEDINGS OF THE AMERICAN SOCIETY OF BIOLOGICAL CHEMISTS”. **Journal of Biological Chemistry**, [s. l.], v. 109, n. 2, p. 77–78, 1935.

SANTOS, G.; MELO, P. G. H.; GONÇALVES, D. S.; GONZAGA NETO, S.; CABRAL, A. D. M. Modeling in the nutrition of non-ruminants: general aspects, nutrient dynamics, limitations and service systems. **Braz. J. Anim. Environ. Res.** [S. l.], v. 3, n. 1, p. 114 – 132, 2020.

SELLE, P. H.; DE PAULA DORIGAM, J. C.; LEMME, A.; CHRYSTAL, P. V.; LIU, S. Y. Synthetic and crystalline amino acids: Alternatives to soybean meal in chicken-meat production. **Animals**, [S. l.], v. 10, n. 4, p. 729 – 749, 2020.

SIBBALD, I. R. A Bioassay for Available Amino Acids and True Metabolizable Energy in Feedingstuffs. **Poultry Science**, [S. l.], v. 58, p. 668 – 673, 1979.

SIGOLO, S.; ZOHRABI, Z.; GALLO, A.; SEIDAVI, A.; PRANDINI, A. Effect of a low crude protein diet supplemented with different levels of threonine on growth performance, carcass traits, blood parameters, and immune responses of growing broilers. **Poultry Science**, [s. l.], v. 96, n. 8, p. 2751–2760, 2017.

SILVA, E. P.; LIMA, M. B.; SAKOMURA, N. K.; MORAES, L. E.; PERUZZI, N. J. Weight gain responses of laying-type pullets to methionine plus cystine intake. **Animal**, [s. l.], v. 14, p. 294 – 302, 2020.

SILVA, E. P.; SAKOMURA, N. K.; SARCINELLI, M. F.; DORIGAM, J. C. de P.; VENTURINI, K. S.; LIMA, M. B. de. Modeling the response of Japanese quail hens to lysine intake. **Livestock Science**, [s. l.], v. 224, n. April, p. 69–74, 2019.

SOUFFRANT, W. B.; RÉRAT, A.; LAPLACE, J. P.; DARCY-VRILLON, B.; KÖHLER, R.; CORRING, T.; GEBHARDT, G. Exogenous and endogenous contributions to nitrogen fluxes in the digestive tract of pigs fed a casein diet III. **Reproduction Nutrition Development**, [S. l.], v. 33, p. 373 – 382, 1993.

WARE, G. O.; DIXON PHILLIPS, R.; PARRISH, R. S.; MOON, A. C. A Comparison of Two Nonlinear Models for Describing Intake-Response Relationships in Higher Organisms. **J. Nutr.** [S. l.], v. 110, p. 765-770, 2018.

CAPÍTULO II – DIGESTIBILIDADE DE FONTES DE TREONINA PARA FRANGOS DE CORTE

RESUMO

Objetivou-se com este estudo determinar a digestibilidade de fontes de L-treonina para frangos de corte utilizando o método direto e o de substituição. Para tanto, foram realizados dois ensaios concomitantes. Para o ensaio de digestibilidade pelo método direto, foram utilizados 150 frangos de corte com 15 dias de idade distribuídos em três tratamentos e 10 repetições com cinco aves cada. O ensaio de digestibilidade pelo método da substituição, foram utilizados 250 frangos de corte considerando cinco tratamentos com 10 repetições de cinco aves cada. No método direto, uma dieta isenta de proteína foi utilizada, adicionando 10% de L-treonina-biomassa 80% e 8% de L-treonina 98,5%. Já no método de substituição, as aves foram alimentadas com uma dieta basal à base de milho e farelo de soja, suplementada com diferentes níveis de L-treonina-biomassa 80% (3% e 6%) e L-treonina 98,5% (2,4% e 4,8%). Foi adicionado óxido de cromo como marcador de indigestibilidade em todas as dietas. O período experimental foi de quatro dias para ambas as técnicas, sendo 3 dias de adaptação e um dia de coleta. Aos 26 dias de idade, todas as aves foram eutanasiadas por injeção intracardíaca de T-61® e o conteúdo do íleo foi coletado. A digesta ileal das aves em cada parcela experimental foi agrupada e congelada imediatamente após a coleta e, subsequentemente foi liofilizada. Amostras da digesta e das dietas utilizadas, foram analisadas quanto à matéria seca, nitrogênio, proteína bruta, energia bruta, concentração de aminoácidos e concentração do indicador. Os resultados das análises foram utilizados para determinar os valores de perda endógena, digestibilidade ileal aparente e digestibilidade ileal padronizada. A L-treonina-biomassa 80% apresentou coeficientes de digestibilidade aparente e padronizada semelhantes a L-treonina 98,5%. A treonina foi o aminoácido com maior coeficiente de digestibilidade, atingindo valores acima de 99%, evidenciando a alta biodisponibilidade da L-treonina-biomassa 80%. Esses resultados indicam que a L-treonina-biomassa 80% é uma fonte eficiente e comparável à fonte cristalina, com desempenho nutricional semelhante, podendo ser utilizada como uma alternativa viável à L-treonina cristalina 98,5%.

Palavras-chave: Aminoácido, biomassa, treonina, método direto, substituição.

INTRODUÇÃO

O valor nutritivo da proteína de um ingrediente da dieta é determinado pelo conteúdo total e disponibilidade dos aminoácidos (AA) e deve ser considerada para fornecer boas estimativas da disponibilidade de AA. A partir dos ensaios de digestibilidade é possível medir a disponibilidade de todos os AA em apenas um ensaio, diretamente no animal (RAVINDRAN *et al.*, 2017). Tratar da qualidade

de um ingrediente “fonte” de AA, com base nos AA digestíveis, possibilita estimativas mais precisas das necessidades para a manutenção e desempenho dos animais (LARBIER *et al.*, 1991).

Geralmente, os valores de digestibilidade de alimentos são determinados a partir do método direto ou pelo método da substituição. O método direto consiste em fornecer para os animais dietas em que, apenas a fonte do nutriente teste seja suplementado. Enquanto o método da substituição, consiste na formulação de uma dieta basal, a qual o ingrediente teste é adicionado em substituição a partes dessa (FAN; SAUEL, 1995).

A treonina (Thr) é um AA indispensável para os animais e o terceiro limitante para frangos de corte alimentados com dietas à base de milho e farelo de soja. A produção desse AA é realizada principalmente via fermentação microbológica, utilizando bactérias como, *Escherichia coli*, *Serratia marcescens*, *Brevibacterium flavum* e *Corynebacterium glutamicum*, (KIM *et al.*, 2004) em meio de cultura contendo carbono, nitrogênio e fontes de enxofre e fósforo (LEUCHTENBERGER *et al.*, 2005).

Após a fermentação, ocorre o processo de purificação do AA, e a primeira etapa desse processo é a separação da biomassa proveniente da fermentação. A biomassa resultante do processo de fermentação, é um produto rico em proteína, energia e AA essenciais e não essenciais (ALMEIDA *et al.*, 2014). Desta forma, usar essa biomassa rica em nutrientes antes da extração do AA específico pode ser uma opção viável para a substituição de fontes cristalinas e para diminuir insumos na fabricação de ração (HERMANN, 2003) inclusive, para frangos de corte.

Outras pesquisas foram conduzidas com o objetivo de avaliar a utilização de aminoácidos de biomassa para a alimentação animal, como sulfato de lisina para frangos de corte (NEME *et al.*, 2001; WANG *et al.*, 2007a), e uma fonte líquida de Thr resultante de fermentação (DOZIER *et al.*, 2003).

Recentemente a L-treonina-biomassa 80% foi desenvolvida para o uso em dietas de animais. Pesquisas anteriores demonstraram que a fonte de L-treonina-biomassa 75% pode ser utilizada em substituição a fontes cristalinas sem afetar o desempenho de frangos de corte (LEE *et al.*, 2022; WENSLEY *et al.*, 2020a). Os avanços biotecnológicos possibilitaram a produção de uma fonte contendo 80% de Thr. Entretanto, não há informações a respeito dos coeficientes de

digestibilidade desse produto, bem como, da sua biomassa para frangos de corte. Portanto, objetivou-se com esta pesquisa, determinar a digestibilidade de fontes de L-treonina para frangos de corte utilizando o método direto e o de substituição.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado de acordo com os padrões de qualidade vigentes para produção e utilização de animais para pesquisa científica, de acordo com a Lei nº 11.794, de 8 de outubro de 2008, Portaria nº Instituto Nacional de Experimentação Animal (CONCEA). Os procedimentos foram submetidos à avaliação do Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP, Campus Jaboticabal, São Paulo, Brasil, e aprovados sob número de protocolo 0033760/23.

Para determinar os coeficientes de digestibilidade ileal aparente padronizada de L-treonina-biomassa 80% e L-treonina 98,5% para frangos de corte, foram adotados dois métodos. O método direto, seguindo a metodologia proposta por Fan e Sauel (1995) e o método da substituição, seguindo a metodologia proposta por Nalle *et al.* (2012).

Inicialmente, 500 pintinhos de corte da linhagem Cobb® foram criados em baias de piso até os 22 dias de idade. Durante este período, os animais foram alimentados com dieta basal (EMn 3110 kcal/kg; 23,0 g/kg) e água a vontade. Aos 22 dias de idade 150 aves foram selecionadas com base no peso corporal para a composição das unidades experimentais para a avaliação da digestibilidade da L-treonina-biomassa 80% e da L-treonina 98,5% pelo método direto.

Para tanto, foi formulada uma dieta isenta de proteína (DIP) para determinar as perdas basais endógenas e para servir como base para a composição das dietas utilizadas para determinar a digestibilidade das fontes avaliadas. Essas dietas consistiram em DIP com adição de 10% de L-treonina-biomassa 80% e DIP com adição de 8% de L-treonina 98,5% (Tabela 1). As fontes de Thr foram suplementadas em substituição ao açúcar da DIP. Foram adicionados óxido de cromo nas dietas como marcador de indigestibilidade. Os tratamentos foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado.

Tabela 1. Composição das dietas utilizadas para determinar a digestibilidade de treonina e perda endógena pelo método direto

Ingredientes g/kg	DIP	DIP + 10% Thr 80%	DIP + 8% Thr 98,5%
Açúcar	150,0	50,0	70,0
Dextrose	360,0	360,0	360,0
Óleo de Soja	25,0	25,0	25,0
Amido	300,0	300,0	300,0
Fosfato Bicálcico	19,8	19,8	19,8
Calcário	7,9	7,9	7,9
NaCl	5,5	5,5	5,5
L-Treonina 98,5%	-	-	80,0
L-Treonina 80%	-	100,0	-
Cloreto de Colina 60	1,0	1,0	1,0
Ligno Celulose	50,0	50,0	50,0
Óxido de Crômio	5,0	5,0	5,0
Óxido de Titânio	5,0	5,0	5,0
Caulim	68,9	68,9	68,9
Premix Vitamínico ¹	1,0	1,0	1,0
Premix Mineral ²	1,0	1,0	1,0
Total	1000,0	1000,0	1000,0
Valores analisados			
Matéria seca, kcal/kg	93,4	93,5	93,8
Energia Bruta, %	3542,1	3563,9	3566,5
Proteína Bruta, %	0,13	4,69	1,69
Ácido Aspártico, %	0,01	0,01	0,01
Ácido Glutâmico, %	0,02	0,13	0,01
Serina, %	0,01	0,01	0,01
Glicina, %	0,01	0,11	0,01
Histidina, %	0,01	0,01	0,01
Arginina, %	0,01	0,01	0,01
Treonina, %	0,01	7,96	6,43
Alanina, %	0,01	0,01	0,01
Prolina, %	0,01	0,01	0,01
Tirosina, %	0,01	0,01	0,01
Valina, %	0,01	0,01	0,01
Metionina, %	0,01	0,02	0,01
Cisteína, %	0,01	0,20	0,16
Isoleucina, %	0,01	0,11	0,01
Leucina, %	0,01	0,07	0,01
Fenilalanina, %	0,01	0,01	0,01
Lisina, %	0,01	0,01	0,01
Triptofano, %	0,01	0,04	0,03

DIP: Dieta Isenta de Proteína. ¹Premix vitamínico: Vitamina A = 12,000,000 IU, Vitamina D3 = 4,000,000 IU, Vitamina E = 55,000 IU, Vitamina K3 = 3,000mg, Vitamina B1 = 2,300mg, Vitamina B2 = 7,000mg, Ácido pantotênico = 12g, Vitamina B6 = 4,000mg, Vitamina B12 = 25,000mcg, Ácido nicotínico = 60g, Ácido fólico = 2,000mg, Biotina = 250mg, Selênio = 300mg. ²Premix mineral: Ferro = 100g, Cobre = 20g, Manganês = 130g, Zinco = 130g, Iodo = 2,0mg.

Aos 22 dias de idade, 250 aves foram selecionadas com base no peso médio para a composição das unidades experimentais no método de substituição. Foram considerados cinco tratamentos com 10 repetições de cinco aves cada. Os tratamentos consistiram em uma dieta basal, formulada à base de milho e farelo de soja (Tabela 2) e quatro dietas alcançadas a partir da substituição da dieta basal por 3% e 6% de L-treonina-biomassa 80% e 2,4% e 4,8% de L-treonina 98,5%, para a obtenção de 2% e 4% de Thr.

Foi adicionado óxido de cromo nas dietas como marcador de indigestibilidade. Os tratamentos foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado.

O período experimental foi de quatro dias, para ambas as técnicas utilizadas, sendo três dias de adaptação e um dia de coleta. Aos 26 dias de idade, todas as aves foram eutanasiadas por injeção intracardíaca de T-61® (A cada 100 mL contém: Iodeto de mebezônio 5,0g; Embutramida 20,0g; Cloridrato de tetracaína 0,5g) (0,03 mg/kg de peso corporal) e o conteúdo do íleo foi coletado conforme as recomendações preconizadas por Ravindran *et al* (2005).

Após a constatação do óbito, foi realizada uma incisão abdominal e o intestino delgado foi imediatamente exposto e o conteúdo da metade inferior do íleo foi coletado por enxague suave com água deionizada. A digesta ileal das aves dentro da parcela experimental foi agrupada e congelada imediatamente após a coleta e, subsequentemente foi liofilizada. As amostras secas de digesta ileal foram moídas em moinho tipo bola e armazenadas em recipientes herméticos a -20 °C para análises químicas.

Tabela 2. Composição das dietas utilizadas para determinar a digestibilidade de treonina pelo método substituição

Ingredientes g/kg	DB	DB + 3% Thr80%	DB + 6% Thr80%	DB + 2.4% Thr98,5%	DB + 4.8% Thr98,5%
Milho	615,0	-	-	-	-
Farelo de soja 46%	328,0	-	-	-	-
Óleo de soja	18,0	-	-	-	-
Fosfato bicálcico	13,1	-	-	-	-
Calcário	8,1	-	-	-	-
Cloreto de sódio	5,2	-	-	-	-
L-Treonina 98,5%	-	-	-	2,4	4,8
L-Threonina 80%	-	3	6	-	-
Cloreto de colina 60	0,5	-	-	-	-
Óxido de cromo	5,0	-	-	-	-
Óxido de titânio	5,0	-	-	-	-
Premix Vitamínico ¹	1,0	-	-	-	-
Premix Mineral ²	0,5	-	-	-	-
Total	1000,00	-	-	-	-
Valores analisados					
Matéria seca, %	90,10	90,50	91,20	90,20	91,64
Energia bruta, kcal/kg	4.333	4.340	4.334	4.365	4.332
Proteína Bruta, %	22,47	24,20	27,94	24,38	26,23
Ácido Aspártico, %	2,29	2,20	2,13	2,19	2,15
Ácido Glutâmico, %	4,15	4,01	3,88	4,02	3,85
Serina, %	1,24	1,19	1,17	1,19	1,18
Glicina, %	0,94	0,92	0,93	0,91	0,89
Histidina, %	0,63	0,61	0,56	0,60	0,59
Arginina, %	1,48	1,41	1,40	1,42	1,42
Treonina, %	0,91	2,84	5,36	3,05	5,64
Alanina, %	1,15	1,21	1,19	1,17	1,16
Prolina, %	1,33	1,34	1,26	1,31	1,27
Tirosina, %	0,79	0,72	0,75	0,72	0,76
Valina, %	0,92	0,96	0,94	0,96	0,96
Metionina, %	0,29	0,29	0,28	0,29	0,28
Cisteína, %	0,33	0,39	0,46	0,37	0,48
Isoleucina, %	0,97	1,01	1,01	0,99	0,97
Leucina, %	1,99	2,07	1,98	2,05	1,98
Fenilalanina, %	1,12	1,12	1,08	1,12	1,10
Lisina, %	1,34	1,29	1,29	1,29	1,28
Triptofano, %	0,22	0,23	0,34	0,23	0,21

BD: Dieta Basal. ¹Premix vitamínico: Vitamina A = 12,000,000 IU, Vitamina D3 = 4,000,000 IU, Vitamina E = 55,000 IU, Vitamina K3 = 3,000mg, Vitamina B1 = 2,300mg, Vitamina B2 = 7,000mg, Ácido pantotênico = 12g, Vitamina B6 = 4,000mg, Vitamina B12 = 25,000mcg, Ácido nicotínico = 60g, Ácido fólico = 2,000mg, Biotina = 250mg, Selênio = 300mg. ²Premix mineral: Ferro = 100g, Cobre = 20g, Manganês = 130g, Zinco = 130g, Iodo = 2,0mg.

Amostras da digesta, bem como, das dietas utilizadas, foram analisadas quanto à matéria seca, seguindo a metodologia descrita por Silva e Queiroz (2002), nitrogênio e proteína bruta, determinados de acordo as orientações da AOAC (2001) seguindo os procedimentos (métodos 968,07 e 976,05), energia bruta determinada em bomba calorimétrica adiabática PARR. Os teores totais de aminoácidos foram analisados por cromatografia líquida de alta eficiência seguindo as recomendações preconizadas por White et al. (1986) e Hagen et al. (1989) e concentração do indicador, determinado seguindo as recomendações de Furukawa e Tsukahara (1966).

Os resultados das análises foram utilizados para determinar os valores de digestibilidade ileal aparente (DIA), perda endógena de aminoácidos (PE) e digestibilidade ileal padronizada (SID), pelas seguintes equações:

$$DIA = 1 - [(Cr^{In} / Cr^{Dig}) \times (AAs^{Dig} / AAs^{In})]$$

Onde Cr^{In} é a concentração de cromo na dieta, Cr^{Dig} é a concentração de cromo na digesta ileal, AAs^{Dig} é a concentração de aminoácidos na digesta ileal e AAs^{In} é a concentração de aminoácidos na dieta. Valores foram expressos em gramas por quilograma de matéria seca (MS).

$$PE = AAs \times (Cr^{In} / Cr^{Dig})$$

Onde AAs é a concentração de aminoácidos na digesta ileal, Cr^{In} é a concentração de cromo na dieta, Cr^{Dig} é a concentração de cromo na digesta ileal.

$$SID = [DIA AAs + (AAs^{PE} / AAs^{In})]$$

Onde AAs^{PE} representa as perdas ileais endógenas de aminoácidos (g/kg MS) e AAs^{In} representa a concentração de AAs na dieta (g/kg MS).

As ingestões diárias quantitativas de matéria seca, nitrogênio, proteína bruta, energia bruta e aminoácidos, foram calculadas multiplicando o consumo de ração pela concentração do nutriente na dieta. A quantidade do nutriente digerido até o íleo terminal foi calculada pela multiplicação do nutriente ingerido pelo coeficiente de digestibilidade. A digestibilidade parcial do nutriente nas fontes de treonina suplementar foi obtida a partir da regressão linear entre a ingestão do nutriente e a quantidade do nutriente digerida até o íleo terminal.

Os dados foram analisados quanto aos pressupostos de homogeneidade e normalidade. O teste de F foi utilizado para a ANOVA e quando observado efeito ($p \leq 0,05$), os dados foram analisados através de um modelo misto, considerando os tratamentos como efeito fixo e a unidade experimental como efeito aleatório.

RESULTADOS

Na tabela 3 são apresentadas as médias de perda endógena de proteína bruta e aminoácidos, bem como, as perdas endógenas de aminoácidos na composição da proteína bruta.

Tabela 3. Fluxo basal de AA endógeno (g/kg MS) e composição da proteína endógena (g/100g de PB) determinados pela dieta isenta de proteínas

	Dieta isenta	SEM	Composição PB	SEM
Proteína Bruta	4,62	1,32	-	-
Ácido Aspártico	0,06	0,02	1,35	0,31
Ácido Glutâmico	0,14	0,04	3,00	0,40
Serina	0,22	0,06	4,75	0,54
Glicina	0,18	0,05	3,89	0,49
Histidina	0,06	0,01	1,27	0,21
Arginina	0,12	0,04	2,51	0,42
Treonina	0,24	0,07	5,24	0,70
Alanina	0,15	0,05	3,26	0,51
Prolina	0,23	0,07	5,01	0,63
Tirosina	0,10	0,03	2,25	0,30
Valina	0,19	0,06	4,01	0,61
Metionina	0,05	0,02	1,12	0,15
Cisteína	0,05	0,02	0,98	0,27
Isoleucina	0,15	0,04	3,14	0,40
Leucina	0,21	0,06	4,53	0,67
Fenilalanina	0,13	0,04	2,77	0,35
Lisina	0,12	0,04	2,62	0,35
Triptofano	0,11	0,04	2,37	0,46

Os AAs com maior concentração na proteína de origem endógena foram, respectivamente, Thr, Pro, Ser, e Leu e, a menor concentração foi observada para Cis. Os coeficientes de digestibilidade aparente e padronizada pelo método direto estão apresentados na Tabela 4. Os coeficientes de digestibilidade do nitrogênio e da proteína bruta foram menores para a L-treonina-biomassa 80%, tanto para aparente, quanto para padronizada, 79,4% e 82,9%, respectivamente.

Tabela 4. Coeficientes de digestibilidade ileal aparente e padronizada de matéria seca, nitrogênio, proteína bruta, energia bruta e treonina (g/kg) para frangos de corte pelo método direto

Itens	Digestibilidade aparente		Digestibilidade padronizada	
	Thr 80%	Thr 98,5%	Thr 80%	Thr 98,5%
Matéria Seca	966,4	969,6	966,4	969,6
Nitrogênio	794,5	874,9	829,0	883,0
Proteína Bruta	794,5	874,9	829,0	883,0
Energia Bruta	892,4	887,7	893,3	888,6
Treonina	993,0	992,0	995,3	994,2

A suplementação, independente das fontes validadas, apresentou efeito ($p < 0,001$) nos coeficientes de digestibilidade aparente de matéria seca, nitrogênio, proteína bruta, energia bruta e AA (Tabela 5). A média dos coeficientes da digestibilidade de matéria seca do nitrogênio e da proteína bruta variou de 83,4% a 93,3%, enquanto a digestibilidade da energia bruta variou de 64,2% a 81,6%. Entre os aminoácidos essenciais, a Thr apresentou o maior coeficiente de digestibilidade (97,7%), no nível de 6% de inclusão de L-treonina-biomassa 80%.

A quantidade de matéria seca, nitrogênio, proteína bruta, energia bruta e AA digeridos até o íleo terminal, apresentaram efeito linear em função da quantidade do nutriente ingerido pelos animais. Na figura 1, são apresentados os detalhes das análises de regressão da quantidade aparente de Thr digerida até o íleo terminal em função dos níveis de inclusão de L-treonina-biomassa 80% e L-treonina 98,5%.

Com base nas inclinações das retas da regressão (Tabela 6), o menor coeficiente de digestibilidade quando os animais receberam dietas suplementadas com L-treonina-biomassa 80% foi observado para Glicina (63%) e o maior, foi observado para Thr (97%). Quando os animais foram alimentados com dietas suplementadas com L-treonina 98,5%, o menor coeficiente de digestibilidade foi observado para Lisina (86%) e o maior foi observado para Thr (100%).

Tabela 5. Coeficientes de digestibilidade ileal aparente de matéria seca, nitrogênio, proteína bruta, energia bruta e aminoácidos de frangos de corte determinados para as dietas com diferentes concentrações de treonina

Itens	Basal	Basal + 3% de Thr 80%	Basal + 6% de Thr 80%	Basal + 2.4% de Thr 98%	Basal + 4.8% de Thr 98%	Geral	SEM	p-valor	CV.%
Matéria seca	897,3	861,5	922,3	940,8	911,8	906,7	5,1	<0,001	2,7
Nitrogênio	811,6	785,3	885,0	895,2	831,5	841,7	6,4	<0,001	1,8
Proteína Bruta	811,6	785,3	885,0	895,2	831,5	841,7	6,4	<0,001	1,8
Energia Bruta	714,4	640,8	766,3	815,1	669,1	721,1	9,8	<0,001	3,8
Treonina	820,1	929,3	975,3	965,8	966,1	931,3	8,3	<0,001	0,9
Ácido Aspártico	895,8	862,5	910,2	929,7	878,2	895,3	3,6	<0,001	1,0
Ácido Glutâmico	901,5	879,7	919,3	939,1	892,4	906,4	3,2	<0,001	0,9
Serina	844,9	812,5	878,3	900,5	825,6	852,4	5,0	<0,001	1,5
Glicina	798,5	744,7	839,0	867,0	761,8	802,2	6,9	<0,001	2,1
Histidina	860,7	824,0	880,0	907,0	836,8	861,7	4,6	<0,001	1,5
Arginina	921,3	908,2	941,6	953,7	923,2	929,6	2,5	<0,001	0,7
Alanina	842,2	821,3	883,2	908,1	841,7	859,3	4,8	<0,001	1,4
Prolina	830,4	791,3	858,2	891,5	805,3	835,3	5,5	<0,001	1,7
Tirosina	895,2	867,1	919,3	933,6	888,3	900,7	3,6	<0,001	1,0
Valina	820,0	795,6	867,3	896,6	822,3	840,4	5,5	<0,001	1,6
Metionina	972,2	948,9	970,5	978,9	957,6	965,6	1,7	<0,001	0,6
Cisteína	906,2	906,1	949,6	944,1	930,8	927,3	2,8	<0,001	0,8
Isoleucina	843,8	826,2	889,1	910,3	850,3	863,9	4,7	<0,001	1,4
Leucina	852,8	837,7	893,3	918,0	855,4	871,4	4,5	<0,001	1,3
Fenilalanina	867,6	848,4	900,5	924,4	866,2	881,4	4,2	<0,001	1,2
Lisina	879,9	859,1	910,1	926,4	899,6	895,0	4,4	<0,001	2,3
Triptofano	706,8	656,8	824,4	809,3	652,4	729,9	11,6	<0,001	5,0
Aminoácidos Totais	862,5	847,2	909,6	922,4	877,1	883,7	4,3	<0,001	1,2

Tabela 6. Digestibilidade aparente de matéria seca, nitrogênio, proteína bruta, energia bruta e aminoácidos digeridos por dia até o íleo terminal, em função da ingestão de alimento descrita pelo método da regressão linear

Itens	Intercepto		Slope		r ²		Sy.x	
	Treonina 80%	Treonina 98,5%	Treonina 80%	Treonina 98,5%	Treonina 80%	Treonina 98,5%	Treonina 80%	Treonina 98,5%
Matéria seca	11,7	1,2	0,77	0,90	0,96	0,98	2,2	3,0
Nitrogênio	-0,004	-0,3	0,79	0,94	0,97	0,84	0,01	0,1
Proteína Bruta	5,3	-2,1	0,59	0,94	0,70	0,84	0,3	0,6
Energia Bruta	983,9	-649,1	0,46	0,92	0,69	0,78	73,9	122,2
Treonina	-153,9	-151,6	0,97	1,00	1,00	0,99	262,0	278,7
Ácido Aspártico	122,1	-108,3	0,83	0,95	0,98	0,99	64,0	82,6
Ácido Glutâmico	240,7	-130,2	0,84	0,94	0,99	0,99	116,1	152,9
Serina	130,6	-66,5	0,74	0,91	0,97	0,96	31,1	43,0
Glicina	153,5	-95,9	0,63	0,92	0,88	0,94	20,6	32,6
Histidina	37,2	-36,4	0,79	0,93	0,98	0,98	18,3	22,5
Arginina	91,0	-3,9	0,86	0,94	1,00	0,99	40,8	51,8
Alanina	216,5	-60,5	0,67	0,92	0,99	0,95	25,6	39,1
Prolina	148,8	-111,2	0,71	0,93	0,97	0,96	33,6	47,1
Tirosina	46,8	-5,7	0,83	0,91	0,98	0,98	21,0	26,3
Valina	190,0	-76,4	0,63	0,93	0,98	0,93	19,9	30,6
Metionina	5,0	-12,1	0,95	1,00	0,99	1,00	8,3	10,7
Cisteína	67,9	-1265,7	0,75	0,53	0,78	0,97	6,7	8,5
Isoleucina	197,7	-35,0	0,66	0,91	0,99	0,95	20,8	32,5
Leucina	301,3	-101,6	0,71	0,93	0,99	0,96	47,7	69,5
Fenilalanina	127,7	-39,9	0,76	0,92	0,99	0,97	28,2	38,7
Lisina	130,5	47,0	0,78	0,87	0,99	0,98	34,1	45,2
Triptofano	-314,4	-46,6	1,92	0,94	0,97	0,92	6,8	8,5
Aminoácidos Totais	8416,4	-1698,4	0,53	0,96	0,99	0,91	399,1	649,0

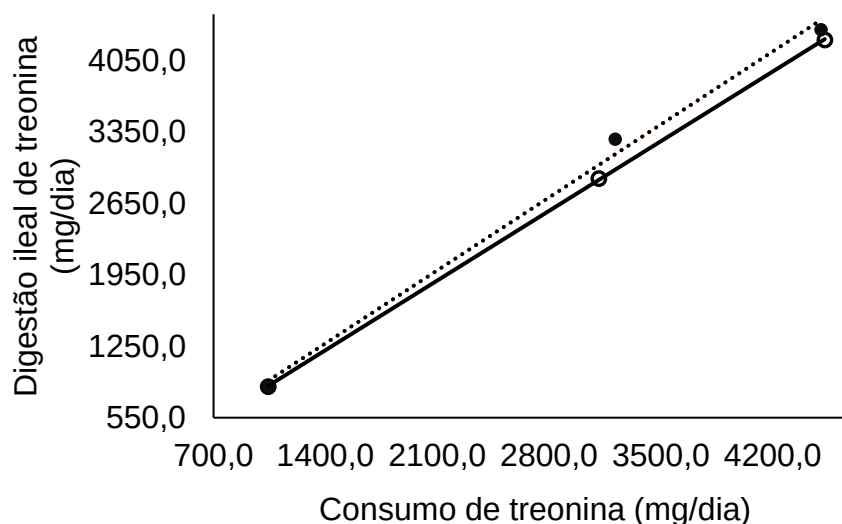


Figura 1. Relação entre ingestão e digestão até o íleo terminal para treonina em frangos de corte alimentados com diferentes concentrações de treonina. ○, L-treonina-biomassa 80%; ●, L-treonina 98,5%; —, estimativa de L-treonina-biomassa 80%; , estimativa de L-treonina 98,5.

Semelhante ao observado nas médias da digestibilidade aparente, os níveis de suplementação de Thr, independente das doses, apresentaram efeito na variáveis analisadas quando convertida para a base de digestibilidade verdadeira (Tabela 7). Independente das doses e das fontes avaliadas, a metionina apresentou o maior coeficiente de digestibilidade (94,9% a 97,9%), enquanto a energia bruta apresentou menores coeficientes de digestibilidade (64,1% a 81,6%).

A quantidade de matéria seca, nitrogênio, proteína bruta, energia bruta e AA digeridos até o íleo terminal, apresentaram efeito linear em função da quantidade do nutriente ingerido pelos animais. Na figura 2, são apresentados os detalhes das análises de regressão da quantidade verdadeira de Thr digerida até o íleo terminal em função de níveis de inclusão de L-treonina-biomassa 80% e L-treonina 98,5%. Considerando a inclinação das regressões, observou-se menor coeficiente de digestibilidade para variável energia bruta (46%) dos frangos alimentados com dietas suplementadas com L-treonina 80%, enquanto o maior valor foi encontrado para treonina (97%) (Tabela 8). Os frangos de corte alimentados com dietas suplementadas com L-treonina 98,5% apresentaram menor e maior coeficientes de digestibilidade verdadeira para os aminoácidos lisina (87%) e treonina (100%), respectivamente (Tabela 8).

Tabela 7. Coeficientes de digestibilidade ileal padronizada de matéria seca, nitrogênio, proteína bruta, energia bruta e aminoácidos de frangos de corte determinados para as dietas com diferentes concentrações de treonina

Itens	Basal	Basal + 3% de Thr 80%	Basal + 6% de Thr 80%	Basal + 2.4% de Thr 98%	Basal + 4.8% de Thr 98%	Geral	SEM	p-valor	CV. %
Matéria seca	897,3	861,5	922,3	940,9	911,8	906,7	5,1	<0,001	2,7
Nitrogênio	846,0	819,8	919,4	929,6	865,9	876,1	6,4	<0,001	1,8
Proteína Bruta	846,0	819,8	919,4	929,6	865,9	876,1	6,4	<0,001	1,8
Energia Bruta	715,4	641,8	767,2	816,0	670,1	722,1	9,8	<0,001	3,8
Treonina	822,4	931,6	977,6	968,1	968,4	933,6	8,3	<0,001	0,9
Ácido Aspártico	896,4	863,1	910,7	930,3	878,7	895,8	3,6	<0,001	1,0
Ácido Glutâmico	902,2	880,3	919,9	939,8	893,0	907,0	3,2	<0,001	0,9
Serina	846,9	814,5	880,4	902,5	827,7	854,4	5,0	<0,001	1,5
Glicina	800,1	746,4	840,7	868,7	763,5	803,9	6,9	<0,001	2,1
Histidina	861,3	824,5	880,5	907,6	837,3	862,2	4,6	<0,001	1,5
Arginina	922,4	909,3	942,7	954,7	924,3	930,7	2,5	<0,001	0,7
Alanina	843,6	822,7	884,6	909,5	843,1	860,7	4,8	<0,001	1,4
Prolina	832,6	793,4	860,3	893,7	807,5	837,5	5,5	<0,001	1,7
Tirosina	896,2	868,1	920,3	934,6	889,3	901,7	3,6	<0,001	1,0
Valina	821,8	797,4	869,1	898,4	824,0	842,1	5,5	<0,001	1,6
Metionina	972,7	949,4	971,0	979,4	958,1	966,1	1,7	<0,001	0,6
Cisteína	906,6	906,5	950,0	944,5	931,3	927,8	2,8	<0,001	0,8
Isoleucina	845,1	827,5	890,4	911,7	851,6	865,3	4,7	<0,001	1,4
Leucina	854,7	839,6	895,2	919,9	857,3	873,4	4,5	<0,001	1,3
Fenilalanina	868,7	849,6	901,7	925,6	867,4	882,6	4,2	<0,001	1,2
Lisina	881,1	860,2	911,2	927,5	900,8	896,2	4,4	<0,001	2,3
Triptofano	707,9	657,8	825,4	810,3	653,4	730,9	11,6	<0,001	4,3
Aminoácidos Totais	867,9	852,6	915,0	927,8	882,5	889,1	4,3	<0,001	1,2

Tabela 8. Digestibilidade padronizada de matéria seca, nitrogênio, proteína bruta, energia bruta e aminoácidos digeridos por dia até o íleo terminal, em função da ingestão de alimento descrita pelo método da regressão linear

Itens	Intercepto		Slope		r ²		Syx	
	Treonina a 80%	Treonina 98,5%	Treonina 80%	Treonina 98,5%	Treonina 80%	Treonina 98,5%	Treonina 80%	Treonina 98,5%
Matéria seca	16,7	1,2	0,70	0,90	0,96	0,98	2,2	3,0
Nitrogênio	0,1	-0,4	0,83	0,99	0,74	0,87	0,1	0,1
Proteína Bruta	1,2	-2,5	0,71	0,99	0,97	0,87	0,4	0,7
Energia Bruta	1083,2	-834,0	0,46	0,93	0,70	0,88	84,8	145,4
Treonina	-226,3	-185,5	1,02	1,01	1,00	1,00	270,9	273,3
Ácido Aspártico	122,1	-108,3	0,83	0,95	0,98	0,99	64,1	82,6
Ácido Glutâmico	240,7	-130,2	0,84	0,95	0,99	0,99	116,2	153,0
Serina	130,6	-66,5	0,74	0,92	0,97	0,97	31,2	43,1
Glicina	153,5	-95,9	0,63	0,92	0,88	0,94	20,6	32,7
Histidina	37,2	-36,4	0,79	0,93	0,98	0,98	18,3	22,5
Arginina	91,0	-3,9	0,86	0,94	1,00	0,99	40,8	51,8
Alanina	216,5	-60,5	0,67	0,92	0,99	0,95	25,7	39,2
Prolina	148,8	-111,2	0,72	0,93	0,97	0,96	33,6	47,2
Tirosina	46,8	-5,7	0,83	0,91	0,98	0,98	21,0	26,3
Valina	190,0	-76,4	0,63	0,93	0,98	0,93	20,0	30,7
Metionina	5,0	-12,1	0,95	1,01	0,99	1,00	8,3	10,7
Cisteína	67,9	99,3	0,75	0,70	0,78	0,97	6,7	8,5
Isoleucina	197,7	-35,0	0,66	0,91	0,99	0,95	20,8	32,5
Leucina	301,3	-101,6	0,71	0,93	0,99	0,96	47,8	69,7
Fenilalanina	127,7	-39,9	0,76	0,92	0,99	0,97	28,2	38,7
Lisina	130,5	47,0	0,79	0,87	0,99	0,98	34,1	45,3
Triptofano	-314,4	-46,6	1,07	0,94	0,97	0,92	6,8	8,5
Aminoácidos Totais	8416,4	-1698,4	0,53	0,96	0,99	0,91	401,8	652,6

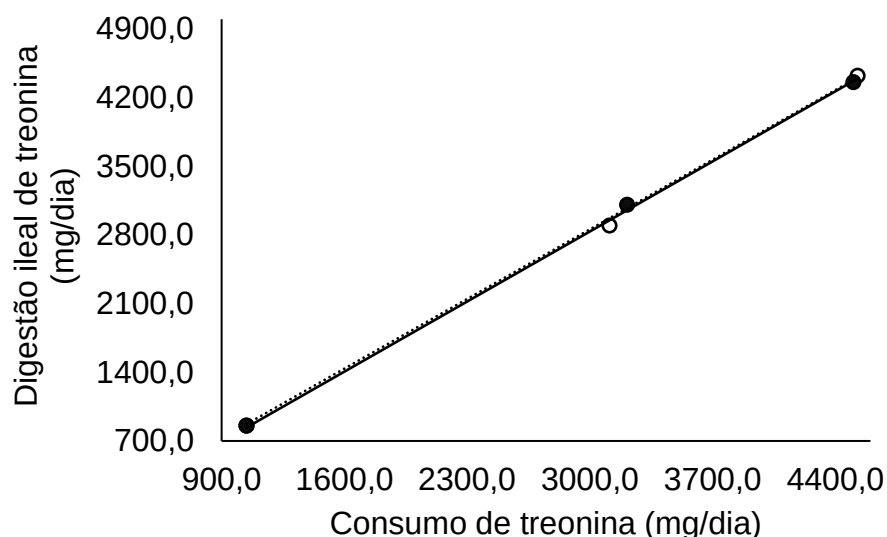


Figura 2. Relação entre ingestão e digestão até o íleo terminal para treonina em frangos de corte alimentados com diferentes concentrações de treonina. ○, L-treonina-biomassa 80%; ●, L-treonina 98,5%; —, estimativa de L-treonina-biomassa 80%; , estimativa de L- treonina 98,5%.

DISCUSSÃO

Objetivou-se com esta pesquisa, determinar a digestibilidade de fontes de L-treonina para frangos de corte utilizando os métodos direto e o de substituição. A digestibilidade de AA no íleo terminal é considerada um método mais adequado em relação à coleta de excretas para avaliar o valor dos AA de um ingrediente (RAVINDRAN; BRYDEN, 1999). Ainda assim, as perdas endógenas estão presentes na digesta e precisam ser contabilizadas para evitar coeficientes de digestibilidade diferentes.

Para que seja adotado um sistema de avaliação de alimentos padronizado, quantificar as perdas endógenas é primordial. As perdas específicas estão associadas ao ingrediente fornecido aos animais, sendo muito dispendioso avaliá-las (RAVINDRAN, 2021). Embora as perdas específicas possam afetar o valor nutricional líquido do alimento, as perdas basais são influenciadas principalmente pelo consumo de ração, sendo primordial quantificar estas perdas (RODEHUTSCORD *et al.*, 2004).

Quando avaliada a composição de AA na perda endógena de PB, notou-se observado maiores concentrações de treonina, prolina e serina. Esses AAs são predominantes nas glicoproteínas do muco intestinal (LIEN *et al.*, (2001), indicando maior concentração de mucina nas perdas endógenas. Outro AA

observado em alta concentração na proteína endógena foi a glicina. A glicina é um AA abundante nas secreções biliares de suínos e, “escapa” da reabsorção com glicina desconjugada (HASLEWOOD, 1955) o que contribui para a alta concentração na proteína endógena. Outros autores também observaram altas concentrações de glicina na proteína endógena de aves e as atribuíram à secreções biliares (ADEDOKUN *et al.*, 2011b; ADEOLA *et al.*, 2016; RAVINDRAN; BRYDEN, 1999).

Realizar as correções dos coeficientes de digestibilidade de AA pelas perdas endógenas depende da capacidade de fazer medições confiáveis. Ravindran (2021) constatou que as condições experimentais e diferentes técnicas dietéticas corroboram para obtenção de distintas estimativas de perdas endógenas. As técnicas utilizadas para quantificar as perdas endógenas são sujeitas a limitações e críticas, porém, considerar essas perdas devem ser consideradas para atender a real exigência dos animais (RODEHUTSCORD *et al.*, 2004).

Um ponto a ser levado em consideração no momento do planejamento experimental é a concentração do nutriente que se pretende avaliar no ingrediente. Nesta pesquisa, a digestibilidade dos AAs presentes na biomassa da L-treonina-biomassa 80%, não pôde ser avaliada pelo método direto, pois, ao aplicar esse método, espera-se que os níveis de alguns nutrientes estejam abaixo dos níveis exigidos pelos animais. Pequenas mudanças nos níveis desses nutrientes, provocam diferenças relativamente significativas nas suas digestibilidades (SAUER; OZIMEK, 1986). Quando se avalia ingredientes com baixa concentração de AA específicos, métodos como a substituição e regressão são preferíveis (FAN; SAUEL, 1995).

Há muito é conhecido que existe uma linearidade entre a ingestão de proteína e a excreção fecal de N e, essa relação tem sido utilizada para a determinação da digestibilidade da proteína (MITCHELL; BERT, 1953). Short *et al.* (1999) aplicaram a abordagem da regressão para determinar a digestibilidade ileal dos AAs do trigo para frangos de corte com base em três níveis de inclusão (250, 500 e 750 g/kg de trigo nas dietas). De acordo com os autores, ao extrapolar as equações de regressão para 1000 g/kg e dividindo o valor obtido pelo total do nutriente analisado, foi possível calcular a digestibilidade padronizada.

Nesta pesquisa, apresentamos os valores de digestibilidade nas bases aparente e padronizada. Entretanto, apenas para fins de validação, quando aplicamos o cálculo proposto por Short *et al.* (1999), para determinar o coeficiente de digestibilidade padronizada de treonina na fonte de L-treonina-biomassa 80%, Ex.: $((-153,9 + 0,97 \times 1000) \div 763,7)$, encontramos o coeficiente de digestibilidade padronizado de 1,06, valor muito próximo do observado na tabela 8. Quando extrapolamos a equação para 0 g/kg, o valor encontrado para a perda endógena foi igual ao intercepto (-153,9), corroborando com os resultados obtido por Short *et al.* (1999). Entretanto, resultados negativos obtidos quando se aplica o método da regressão geram discussões a respeito da sua utilização para determinar perdas endógenas.

De acordo com Ravindran (2021) perdas endógenas de AA negativas são fisiologicamente insustentáveis e sugere que, esses resultados demonstram limitação na aplicação do método da regressão. Rodehutscord *et al.* (2004) recomendaram que abordagens alternativas deveriam ser utilizadas para quantificar as perdas endógenas basais de AAs quando se utiliza a técnica de regressão. Nesta pesquisa, utilizou-se a dieta isenta de proteína para quantificar a perda endógena e dar suporte a técnica de regressão.

Considerando as técnicas de determinação os coeficientes de digestibilidade de AAs, método direto e método da substituição, a L-treonina-biomassa 80% possui digestibilidade semelhante à da L-treonina 98,5% e pode ser utilizada em sua substituição.

REFERÊNCIAS

- ADEDOKUN, S. A. *et al.* Factors affecting endogenous amino acid flow in chickens and the need for consistency in methodology. **Poultry Science**. V. 90, n. 8, p. 1737 – 1748, 2011.
- ADEOLA, O. *et al.* Basal endogenous losses of amino acids in protein nutrition research for swine and poultry. **Animal Feed Science and Technology**, v. 221, p. 274–283, 2016.
- ALMEIDA, F. N.; SULABO, R. C.; STEIN, H. H. Amino acid digestibility and concentration of digestible and metabolizable energy in a threonine biomass product fed to weanling pigs. **Journal of Animal Science**, v. 92, n. 10, p. 4540–4546, 2014.
- CHEN, N. *et al.* Optimization of fermentation conditions for the biosynthesis of L-threonine by escherichia coli. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 158, n. 3, p. 595–604, 2009.
- DOZIER, W. A.; MORAN, E. T.; KIDD, M. T. Broiler Chick Utilization of Threonine from Fermentation By-Product Broth. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 12, p. 299 – 305, 2003.
- FAN, M. Z.; SAUEL, W. C. Determination of Apparent Ileal Amino Acid Digestibility in Barley and Canola Meal for Pigs with the Direct, Difference, and Regression Methods. **J. Anim. Sci.** v. 73, p. 2364 – 2374, 1995.
- FURUKAWA, A.; TSUKAHARA, H. On the acid digestion method for the determination of chromic oxide as an index substance in the study of digestibility of fish feed. **Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fishery**, v. 32, n. 6, p. 502-507, 1966.
- HAGEN, S.R.; FROST, B.; AUGUSTIN. J. Precolumn Phenylisothiocyanate Derivatization And Liquid-Chromatography of Amino-Acids in Food. **Journal of The Association of Official Analytical Chemists**, v. 72, n. 6, p. 912-916, 1989.
- HASLEWOOD, G. A. D. Recent Developments in Our Knowledge of Bile Salts. **Physiol. Rev.** v. 35, p. 188 – 196, 1955.
- HERMANN, T. Industrial production of amino acids by coryneform bacteria. **Journal of Biotechnology**, v. 104, n. 1–3, p. 155 – 172, 2003.
- KIM, Y.-H. *et al.* Proteomic response analysis of a threonine-overproducing mutant of Escherichia coli. **Biochem. J.** v. 381, p. 823 – 829, 2004.
- LARBIER, M.; CHAGNEAU, A.; LESSIRE, M. Effect of protein intake on true digestibility of amino acids in rapeseed meals for adult roosters force fed with

moistened feed. **Animal Feed Science and Technology**, v. 34, n. 4, p. 255 – 260, 1991.

LEE, D. T. *et al.* Evaluation of a threonine fermentation product as a digestible threonine source in broilers. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 31, n. 3, 2022.

LEUCHTENBERGER, W.; HUTHMACHER, K.; DRAUZ, K. Biotechnological production of amino acids and derivatives: Current status and prospects. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 69, n. 1, p. 1–8, 2005.

LIEN, K. A.; SAUER, W. C.; HE, J. M. Dietary influences on the secretion into and degradation of mucin in the digestive tract of monogastric animals and humans. **Journal of Animal and Feed Sciences**. V. 10, n. 2, p. 223 – 245, 2001.

MITCHELL, H. H.; BERT, M. H. The determination of metabolic fecal nitrogen. **The Journal of Nutrition**, [S. l.], v. 20, p. 483 – 497, 1953.

NALLE, C. L.; RAVINDRAN, V.; RAVINDRAN, G. Nutritional value of white lupins (*Lupinus albus*) for broilers: Apparent metabolisable energy, apparent ileal amino acid digestibility and production performance. **Animal**, v. 6, n. 4, p. 579 – 585, 2012.

NEME, R. *et al.* Determinação da Biodisponibilidade da Lisina Sulfato e Lisina HCl com Frangos de Corte. **R. Bras. Zootec.** V. 30, n. 6, p. 1750 – 1759, 2001.

RAVINDRAN, V. *et al.* Determination of ileal digestibility of amino acids in raw materials for broiler chickens – Results of collaborative studies and assay recommendations. **Animal Feed Science and Technology**, v. 225, p. 62 – 72, 2017.

RAVINDRAN, V. Progress in ileal endogenous amino acid flow research in poultry. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 12, n. 5, p. 1 – 11, 2021.

RAVINDRAN, V.; BRYDEN, W. L. Amino acid availability in poultry - In vitro and in vivo measurements. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 50, n. 5, p. 889–908, 1999.

RODEHUTSCORD, M. *et al.* Linear regression approach to study amino acid digestibility in broiler chickens. **British Poultry Science**, v. 45, n. 1, p. 85 – 92, 2004.

SAUER, W. C.; OZIMEK, L. Digestibility of amino acids in swine: results and their practical applications. A review. **Livestock Production Science**, v. 15, p. 367 – 388, 1986.

SHORT, F. J.; WISEMAN, J.; BOORMAN, K. N. Application of a method to determine ileal digestibility in broilers of amino acids in wheat. **Animal Feed Science and Technology**, v. 79, p. 195 – 209, 1999.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos: Métodos Químicos e Biológicos**. 3ª ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2002.

WHITE, J.A.; HART, R.J.; FRY, J.C. An Evaluation of The Waters Pico-Tag System For The Amino-Acid-Analysis of Food Materials. **Journal of Automatic Chemistry**, v. 8, n. 4, p. 170-177, 1986.

WANG, Z. R. *et al.* Bioefficacy of L-lysine·H₂SO₄ relative to L-lysine·HCl in broiler chickens, estimated by slope-ratio model. **British Poultry Science**, v. 48, n. 3, p. 381 – 388, 2007.

WENSLEY, M. R. *et al.* Effects of amino acid biomass or feed-grade amino acids on growth performance of growing swine and poultry. **Translational Animal Science**, v. 4, n. 1, p. 49–58, 2020.

CAPÍTULO III - BIODISPONIBILIDADE RELATIVA DE L-TREONINA-BIOMASSA 80% E L-TREONINA 98,5% PARA FRANGOS DE CORTE NAS FASES DE 1 – 21 E DE 22 – 42 DIAS DE IDADE

RESUMO

Objetivou-se com este estudo avaliar a biodisponibilidade (RBV) da L-treonina de biomassa 80% em relação com a L-treonina 98,5% em frangos de corte nas fases de 1 a 21 dias e de 22 a 42 dias de idade. Foram realizados dois ensaios concomitantes: comparação direta e razão de inclinação. No método direto, foram avaliados dois níveis de treonina nas dietas (0,852% e 0,759%), a partir da suplementação de L-treonina de biomassa 80% e L-treonina 98,5%, nas fases de 1 a 21 dias e de 22 a 42 dias de idade, respectivamente. Para a avaliação pela razão de inclinação, foi formulada uma dieta basal limitada em treonina (0,596%) e os níveis de 0,681% e 0,766% foram alcançados a partir da suplementação de L-treonina de biomassa 80% e L-treonina 98,5%, para a fase de 1 a 21 dias de idade. Na fase de 22 a 42 dias de idade, foi usado o mesmo método, considerando os níveis de 0,511%, 0,608% e 0,684%. Foram avaliados o ganho de peso diário, consumo diário de ração, conversão alimentar, eficiência de utilização da ração, deposição, manutenção e eficiência de utilização de treonina em ambas as fases. Aos 21 e 42 dias, uma ave de cada parcela foi analisada para composição corporal usando a tecnologia de absorciometria de raios X de dupla energia. Não foram observadas diferenças nas variáveis no ensaio de comparação direta. No ensaio de razão de inclinação, a dieta basal reduziu as médias em todas as variáveis avaliadas. Entretanto, a RBV da L-treonina de biomassa 80% foi similar à da L-treonina 98,5% em ambas as fases de produção. A composição corporal e o rendimento de carcaça também não foram afetados pelas diferentes fontes de L-treonina. A L-treonina de biomassa 80% mostrou-se alternativa viável à L-treonina 98,5% para suplementação em dietas de frangos de corte, sem comprometer o desempenho dos animais.

INTRODUÇÃO

A Treonina (Thr), também conhecida como α -amino- β -hidroxibutírico, é um aminoácido essencial para animais (KIDD; KERR, 1996b). Para aves, é classificada como o terceiro aminoácido limitante em dietas formuladas a base milho e farelo de soja. Este aminoácido desempenha um papel crucial na

absorção de nutrientes, síntese proteica, metabolismo energético e função imunológica (CHEN *et al.*, 2017; CORZO *et al.*, 2007; MIN *et al.*, 2017). Estudos têm evidenciado que a suplementação de L-treonina melhora o ganho de peso, eficiência de utilização e rendimento de carcaça de frangos de corte (RAMA *et al.*, 2011; ROBBINS, 1986; WEBEL *et al.*, 1996; ZAEFARIAN *et al.*, 2008).

A produção de aminoácidos (AA) é realizada através da fermentação bacteriana em meio de cultura contendo carbono, nitrogênio e fontes de enxofre e fósforo (CHEN *et al.*, 2009; LEUCHTENBERGER *et al.*, 2005). Após o processo de fermentação, ocorre a separação da biomassa, resultando na obtenção do AA isolado (HERMANN, 2003). Neste procedimento, resíduos de AA essenciais e proteína bruta (PB) permanecem retidos na biomassa, tornando-a um subproduto rico, geralmente descartado (ALMEIDA *et al.*, 2014). A utilização do aminoácido-biomassa antes do processo de extração do AA específico, em substituição a fontes cristalinas, pode ser considerada uma alternativa viável para a produção animal. Pesquisas anteriores avaliando a biodisponibilidade de Lisina sulfato em relação a lisina HCl evidenciaram que não houve diferença entre as fontes testadas no desempenho de frangos de corte (NEME *et al.*, 2001; WANG *et al.*, 2007).

Recentemente a L-treonina 80% foi desenvolvida para o uso em dietas de animais. Wensley *et al.* (2020) evidenciaram que a fonte de L-treonina 75% não apresentou efeito no ganho de peso de frangos de corte de 1 a 28 dias de idade quando comparada com a fonte de L-treonina 98,5%. Os dados destes autores, corroboram com os achados de Lee *et al.* (2022) que também não observaram efeito no ganho de peso de frangos de corte submetidos a dietas com L-treonina de biomassa 75% em comparação com a L-treonina 98,5%.

Com os avanços nos processos biotecnológicos, tornou-se possível elevar a concentração de L-treonina para 80% e reduzir a biomassa para 20%. Destacando a necessidade de pesquisas para avaliar a biodisponibilidade relativa entre as fontes de L-treonina. Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar a biodisponibilidade da L-treonina de biomassa 80% em relação à L-treonina 98,5% em frangos de corte, nos períodos de 1 a 21 dias e de 22 a 42 dias de idade.

MATERIAL E MÉTODOS

Procedimentos gerais

Os procedimentos adotados neste estudo foram realizados seguindo os padrões de qualidade vigentes para produção e utilização de animais para pesquisa científica, de acordo com a Lei nº 11.794, de 8 de outubro de 2008, Portaria nº Instituto Nacional de Experimentação Animal (CONCEA). Os procedimentos foram submetidos à avaliação do Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP, Campus Jaboticabal, São Paulo, Brasil, sob número de protocolo 0033760/23.

Foram realizados dois ensaios concomitantes considerando as fases de 1 a 21 dias de idade e de 22 a 42 dias de idade para avaliar a biodisponibilidade relativa entre as fontes de L-treonina-biomassa 80% e L-treonina 98,5%. Os métodos de avaliação utilizados foram o método da comparação direta e, a razão de inclinação proposta por (Littell *et al.*, 1997).

Os ensaios foram conduzidos em galpão experimental com sistema de controle de temperatura e umidade. As aves foram alojadas em baias equipadas com bebedouros tipo *nipple* e comedouros tubulares com capacidade de 5 kg durante a primeira semana de idade dos animais que, foram substituídos por comedouros tubulares com capacidade de 25 kg até o final do ensaio. A temperatura e umidade foram verificadas diariamente durante todo o período experimental.

Aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias de idade, as aves de cada parcela, bem como a sobra de ração foram pesadas para determinar o consumo de ração, peso corporal, ganho de peso corporal, conversão alimentar e eficiência de utilização. A conversão alimentar foi obtida a partir da divisão do consumo de ração pelo ganho de peso, ajustada pela taxa de mortalidade. A eficiência de utilização foi calculada a partir da divisão do ganho de peso pelo consumo de ração ajustada pela taxa de mortalidade.

Nos dias 21 e 42, uma ave, com peso corporal médio representativo de cada parcela foi selecionada para análise da composição corporal pela tecnologia de absorciometria de raios X de dupla energia (DEXA). Após jejum sólido de 8 horas para esvaziamento do trato gastrointestinal, as aves foram pesadas e eutanasiadas por meio de deslocamento cervical. A partir das

varreduras, foram determinadas as variáveis de Massa Total (MT), área, conteúdo mineral ósseo (CMO), densidade mineral óssea (DMO), massa gorda (FT) e massa magra. As estimativas de proteína bruta, lipídios, água e cinza em g/kg e g/frango foram calculadas com base nas equações propostas por (GONÇALVES *et al.*, 2019).

No 42º dia, quatro aves de cada parcela com base no peso médio da respectiva parcela foram selecionadas para a análise de rendimento de carcaça. As aves foram submetidas a um jejum sólido de 8 horas para o esvaziamento do trato gastrointestinal. As aves foram insensibilizadas por eletronarcose e, em seguida, foi realizado a exsanguinação. Foram avaliados o peso das aves em jejum, bem como, o peso da carcaça. Também foram determinados o peso do peito, dorso, coxa, sobrecoxa, asa, baço e gordura abdominal em g/frango e g/kg.

Experimento I

Ensaio de comparação direta nas fases de 1 – 21 e 22 – 42 dias de idade

Para o ensaio de comparação direta na fase de 1 – 21 dias de idade, foram utilizados 600 pintinhos da linhagem Cobb com peso médio de $40.4g \pm 0.16g$. Foi considerado dois tratamentos distribuídos em delineamento inteiramente casualizado com 10 repetições de 30 aves cada.

Os tratamentos corresponderam às duas fontes de L-treonina avaliadas nesta pesquisa. Ambas as fontes foram suplementadas às dietas para atender a exigência dos animais na fase de 1 – 21 dias de idade, correspondente à concentração de 0.852% de treonina de acordo com as recomendações de Rostagno *et al.* (2017). Os coeficientes de digestibilidade para ambas as fontes foram considerados como 100%. A composição das dietas está apresentada na Tabela 1.

Para a fase de 22 – 42 dias de idade, foram utilizados 400 frangos de corte da linhagem Cobb com peso médio de $1165.5g \pm 7.7g$. Da mesma forma que a fase anterior, foram considerados dois tratamentos referentes às fontes de L-treonina, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado com 10 repetições de 20 aves cada.

As dietas foram suplementadas com as fontes avaliadas para atingir a concentração de 0,759% de treonina de acordo com as recomendações de Rostagno *et al.* (2017). Os coeficientes de digestibilidade para ambas as fontes foram considerados como 100%. A composição das dietas está apresentada na Tabela 1.

Os dados foram analisados segundo os pressupostos da análise de variância e normalidade dos erros. O teste F foi utilizado para a ANOVA utilizando os procedimentos de modelos lineares gerais do software SAS (SAS Institute, 2022).

Tabela 1. Composição nutricional das dietas de frangos de corte nas fases de 1-21 e 22 a 42 dias de idade

Ingrediente, g/ton	Fase de 1 - 21 dias		Fase de 22 - 42 dias	
	Fonte		Fonte	
	Thr 80%	Thr 98,5%	Thr 80%	Thr 98,5%
Milho	582.109	582.109	648.851	648.851
Farelo de soja 46	239.080	239.080	176.947	176.947
Óleo de soja	23.455	23.455	29.000	29.000
MBM 42	56.688	56.688	40.718	40.718
Amendoim 45	60.000	60.000	61.375	61.375
L – Glu Monossódico	10.000	10.000	10.000	10.000
Calcário	2.612	2.612	2.663	2.663
NaCl	1.351	1.351	1.161	1.161
L-Metionina 100	4.672	4.672	5.167	5.167
L-Lisina HCl 79	5.490	5.490	5.767	5.767
L-Treonina-biomassa 80	3.200	-	3.100	-
L-Treonina 98,5	-	2.595	-	2.518
L-Triptofano 98	0.399	0.399	0.468	0.468
L-Valina 96,5	2.022	2.022	2.021	2.021
L-Isoleucina 90	1.825	1.825	1.960	1.960
L-Arginina 98,5	1.997	1.997	2.332	2.332
Cloreto de colina 60	0.600	0.600	0.600	0.600
Caulim	2.800	3.405	6.371	6.953
Premix vitamínico ¹	1.200	1.200	1.000	1.000
Premix mineral ²	0.500	0.500	0.500	0.500
Total	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
Valores calculados				
Matéria seca, %	88,80	88,80	88,792	88,794
Fibra bruta, %	3,00	3,00	2,793	2,793
Extrato etéreo, %	4,81	4,81	5,386	5,386
Amido, %	37,72	37,72	41,945	41,945
Proteína bruta, %	23,08	23,04	20,217	20,176
Energia metabolizável, Kcal/kg	3.110	3.108	3.210	3.208
Lisina, %	1,290	1,290	1,151	1,151
Metionina, %	0,715	0,715	0,735	0,735
Metionina+Cisteína, %	0,955	0,955	0,852	0,852
Treonina, %	0,852	0,852	0,759	0,759
Triptofano, %	0,232	0,232	0,207	0,207
Arginina, %	1,484	1,484	1,323	1,323
Valina, %	0,994	0,994	0,886	0,886
Isoleucina, %	0,865	0,865	0,771	0,771
Leucina, %	1,460	1,460	1,312	1,312
Histidina, %	0,459	0,459	0,403	0,403
Fenilalanina, %	0,855	0,855	0,739	0,739
Potássio, %	0,730	0,730	0,631	0,631
Sódio, %	0,222	0,222	0,205	0,205
Cálcio total, %	0,915	0,915	0,697	0,697
Fósforo, %	0,430	0,430	0,327	0,327
Ácido Linoleico, %	2,557	2,557	2,919	2,919
Colina, UI	1374	1374	1224	1224

¹Premix vitamínico: Vitamina A = 12,000,000 IU, Vitamina D3 = 4,000,000 IU, Vitamina E = 55,000 IU, Vitamina K3 = 3,000mg, Vitamina B1 = 2,300mg, Vitamina B2 = 7,000mg, Ácido pantotênico = 12g, Vitamina B6 = 4,000mg, Vitamina B12 = 25,000mcg, Ácido nicotínico = 60g, Ácido fólico = 2,000mg, Biotina = 250mg, Selênio = 300mg. ²Premix mineral: Ferro = 100g, Cobre = 20g, Manganês = 130g, Zinco = 130g, Iodo = 2,0mg.

Experimento II

Ensaio de biodisponibilidade relativa pela razão de inclinação

Para o ensaio de biodisponibilidade relativa de L-treonina-biomassa 80% e L-treonina 98,5% na fase de 1 – 21 dias de idade, foram utilizados 1.500 pintinhos da linhagem Cobb com peso médio de $40,4\text{g} \pm 0,17\text{g}$. Foram considerados cinco tratamentos, com 10 repetições de 30 aves cada, totalizando 50 unidades experimentais. Os tratamentos foram distribuídos em delineamento experimental inteiramente casualizado.

Três diferentes concentrações de treonina foram contempladas, sendo elas: 0,596%, 0,681%, e 0,766%. Os níveis experimentais foram determinados conforme as recomendações estabelecidas por Littell *et al.* (1997). A dieta basal (DB), com concentração de 0,596%, foi formulada sem a suplementação de L-treonina, enquanto os demais níveis foram alcançados por meio da suplementação das fontes avaliadas. Os coeficientes de digestibilidade das fontes de L-treonina foram considerados como 100%. As dietas foram formuladas de acordo com os níveis recomendados por Rostagno *et al.* (2017). As composições das dietas experimentais estão detalhadas na Tabela 2.

Tabela 2. Composição das dietas experimentais fornecidas na fase de 1 – 21 dias de idade

Ingrediente, g/ton	Níveis de Treonina na dieta, %				
	0,596	0,681	0,766	0,681	0,766
Milho	582.109	582.109	582.109	582.109	582.109
Farelo de soja 46	239.080	239.080	239.080	239.080	239.080
Óleo de soja	23.455	23.455	23.455	23.455	23.455
MBM 42	56.688	56.688	56.688	56.688	56.688
Amendoim 45	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000
L-Glu monossódico	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Cálcário	2.612	2.612	2.612	2.612	2.612
NaCl	1.351	1.351	1.351	1.351	1.351
L-Metionina 100	4.672	4.672	4.672	4.672	4.672
L-Lisina HCl 79	5.490	5.490	5.490	5.490	5.490
L-Treonina-biomassa 80	-	1.057	2.120	-	-
L-Treonina 98,5	-	-	-	0.863	1.731
L-Triptofano 98	0.399	0.399	0.399	0.399	0.399
L-Valina 96,5	2.022	2.022	2.022	2.022	2.022
L-Isoleucina 90	1.825	1.825	1.825	1.825	1.825
L-Arginina 98,5	1.997	1.997	1.997	1.997	1.997
Cloreto de colina 60	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
Caulim	6.000	4.943	3.880	5.137	4.269
Premix vitamínico ¹	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
Premix mineral ²	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
Total	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
Valores calculados					
Matéria seca, %	88,81	88,81	88,80	88,81	88,80
Fibra bruta, %	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Extrato etéreo, %	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81
Amido, %	37,72	37,72	37,72	37,72	37,72
Proteína bruta, %	22,86	22,93	23,00	22,92	22,98
Energia metabolizável, Kcal/kg	3.100	3.103	3.107	3.103	3.106
Lisina, %	1,290	1,290	1,290	1,290	1,290
Metionina, %	0,715	0,715	0,715	0,715	0,715
Metionina+Cisteína, %	0,955	0,955	0,955	0,955	0,955
Treonina, %	0,596	0,681	0,766	0,681	0,766
Triptofano, %	0,232	0,232	0,232	0,232	0,232
Arginina, %	1,484	1,484	1,484	1,484	1,484
Valina, %	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994
Isoleucina, %	0,865	0,865	0,865	0,865	0,865
Leucina, %	1,460	1,460	1,460	1,460	1,460
Histidina, %	0,459	0,459	0,459	0,459	0,459
Fenilalanina, %	0,855	0,855	0,855	0,855	0,855
Potássio, %	0,730	0,730	0,730	0,730	0,730
Sódio, %	0,222	0,222	0,222	0,222	0,222
Cálcio total, %	0,915	0,915	0,915	0,915	0,915
Fósforo, %	0,430	0,430	0,430	0,430	0,430
Ácido Linoleico, %	2,557	2,557	2,557	2,557	2,557
Colina, UI	1374	1374	1374	1374	1374

¹Premix vitamínico: Vitamina A = 12,000,000 IU, Vitamina D3 = 4,000,000 IU, Vitamina E = 55,000 IU, Vitamina K3 = 3,000mg, Vitamina B1 = 2,300mg, Vitamina B2 = 7,000mg, Ácido pantotênico = 12g, Vitamina B6 = 4,000mg, Vitamina B12 = 25,000mcg, Ácido nicotínico = 60g, Ácido fólico = 2,000mg, Biotina = 250mg, Selênio = 300mg. ²Premix mineral: Ferro = 100g, Cobre = 20g, Manganês = 130g, Zinco = 130g, Iodo = 2,0mg.

Nos 7, 14 e 21 dias de idade, além das variáveis de desempenho citadas no tópico de procedimentos gerais, foram calculadas a ingestão, deposição, exigência de manutenção e eficiência de utilização de treonina pelas seguintes equações:

$$\text{Ingestão de Thr g/frango} = (\lambda \times \alpha \div 100) \times 1000$$

Onde: λ é o consumo diário de ração e α é o nível de treonina na dieta.

$$\text{Deposição de Thr g/frango} = ((4,25 \div 100) \times ((14 \div 100) \times \beta)) \times 1000$$

Onde: 4,25 é a porcentagem de treonina na proteína bruta corporal Çiftçi; Ceylan, (2004), 14 é a concentração de proteína bruta corporal e β é o ganho de peso diário.

$$\text{Exigência de manutenção de Thr g/frango} = 45,7 \times (((BW_F + BW_I) \div 2) \div 1000)^{0,75}$$

Onde: 45,7 é a exigência de manutenção de treonina obtida pela média de dos valores apresentados por Edwards *et al.* (1997); Nonis; Gous, (2008), BW_F é o peso do animal no final da semana de avaliação, BW_I é o peso do animal no início do ensaio.

$$\text{Eficiência de utilização de Thr g/frango} = \text{Deposição} \div (\text{Ingestão de Thr} - \text{Manutenção}) \times 1000$$

Para a segunda fase, foram utilizados 1.000 frangos de corte da linhagem Cobb com peso médio de 1164,8 kg $\pm$ 8,2 kg. Foram considerados cinco tratamentos, distribuídos em delineamento experimental inteiramente casualizado, com 10 repetições de 20 aves cada, totalizando 50 unidades experimentais.

Semelhante a primeira fase, foram avaliadas três diferentes concentrações de treonina para atender as exigências estabelecidas para

determinar a bioequivalência de fontes de aminoácidos pelo método proposto por Littell *et al.* (1997), sendo elas: 0,511%, 0,608%, e 0,684%. A DB, referente ao nível de 0,511% foi formulada sem a suplementação de L-treonina, enquanto os demais níveis foram obtidos a partir da suplementação de L-treonina-biomassa 80% e L-treonina 98,5%. As dietas foram formuladas de acordo com os níveis recomendados por Rostagno *et al.* (2017). As composições das dietas experimentais estão detalhadas na Tabela 3.

Aos 28, 35 e 42 dias, foram calculadas a deposição, exigência de manutenção e eficiência de utilização de treonina, seguindo a mesma metodologia apresentada para a fase de 1 – 21 dias de idade.

Tabela 3. Composição das dietas experimentais fornecidas na fase de 22 – 42 dias de idade

Ingrediente, g/ton	Níveis de Treonina na dieta, %				
	0,511	0,608	0,684	0,608	0,684
Milho	648.851	648.851	648.851	648.851	648.851
Farelo de soja 46	176.947	176.947	176.947	176.947	176.947
Óleo de soja	29.000	29.000	29.000	29.000	29.000
MBM 42	40.718	40.718	40.718	40.718	40.718
Amendoim 45	61.375	61.375	61.375	61.375	61.375
L – Glu monossódico	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Calcário	2.663	2.663	2.663	2.663	2.663
NaCl	1.161	1.161	1.161	1.161	1.161
L-Metionina 100	5.167	5.167	5.167	5.167	5.167
L-Lisina HCl 79	5.767	5.767	5.767	5.767	5.767
L-Treonina-biomassa 80	-	1.201	2.151	-	-
L-Treonina 98,5	-	-	-	0.976	1.747
L-Triptofano 98	0.468	0.468	0.468	0.468	0.468
L-Valina 96,5	2.021	2.021	2.021	2.021	2.021
L-Isoleucina 90	1.960	1.960	1.960	1.960	1.960
L-Arginina 98,5	2.332	2.332	2.332	2.332	2.332
Cloreto de colina 60	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
Caulim	9.471	8.269	7.320	8.495	7.724
Premix vitamínico ¹	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Premix mineral ²	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
Total	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
Valores calculados					
Matéria seca, %	88,80	88,79	88,79	88,80	88,79
Fibra bruta, %	2,79	2,79	2,79	2,79	2,79
Extrato etéreo, %	5,38	5,38	5,38	5,38	5,38
Amido, %	41,94	41,94	41,94	41,94	41,94
Proteína bruta, %	20,00	20,08	20,15	20,06	20,12
Energia metabolizável, Kcal/kg	3.200	3.204	3.207	3.203	3.206
Lisina, %	1,151	1,151	1,151	1,151	1,151
Metionina, %	0,735	0,735	0,735	0,735	0,735
Metionina+Cisteína, %	0,852	0,852	0,852	0,852	0,852
Treonina, %	0,511	0,608	0,684	0,608	0,684
Triptofano, %	0,207	0,207	0,207	0,207	0,207
Arginina, %	1,323	1,323	1,323	1,323	1,323
Valina, %	0,886	0,886	0,886	0,886	0,886
Isoleucina, %	0,771	0,771	0,771	0,771	0,771
Leucina, %	1,312	1,312	1,312	1,312	1,312
Histidina, %	0,403	0,403	0,403	0,403	0,403
Fenilalanina, %	0,739	0,739	0,739	0,739	0,739
Potássio, %	0,631	0,631	0,631	0,631	0,631
Sódio, %	0,205	0,205	0,205	0,205	0,205
Cálcio total, %	0,697	0,697	0,697	0,697	0,697
Fósforo, %	0,327	0,327	0,327	0,327	0,327
Ácido Linoleico, %	2,919	2,919	2,919	2,919	2,919
Colina, UI	1224	1224	1224	1224	1224

¹Premix vitamínico: Vitamina A = 12,000,000 IU, Vitamina D3 = 4,000,000 IU, Vitamina E = 55,000 IU, Vitamina K3 = 3,000mg, Vitamina B1 = 2,300mg, Vitamina B2 = 7,000mg, Ácido pantotênico = 12g, Vitamina B6 = 4,000mg, Vitamina B12 = 25,000mcg, Ácido nicotínico = 60g, Ácido fólico = 2,000mg, Biotina = 250mg, Selênio = 300mg. ²Premix mineral: Ferro = 100g, Cobre = 20g, Manganês = 130g, Zinco = 130g, Iodo = 2,0mg.

Os dados foram analisados segundo os pressupostos da análise de variância e normalidade dos erros. O teste F foi utilizado para a ANOVA e quando ($P \leq 0,05$), os dados foram analisados através de um modelo misto, considerando os tratamentos como efeito fixo e a unidade experimental como efeito aleatório. A biodisponibilidade relativa de L-treonina-biomassa 80% para L-treonina 98,5% foi calculada usando a razão de inclinação, de acordo com a metodologia descrita por Littell *et al.* (1997), conforme modelo: $\xi = \alpha + \beta_s X_1 + \beta_t X_2 \pm \epsilon$, onde ξ é a resposta animal; α é interceptação; ϵ é o erro aleatório; β_s e β_t são as inclinações para L-treonina 98,5% e 80%, respectivamente; X_1 e X_2 são as concentrações dietéticas de L-treonina, respectivamente.

RESULTADOS

Experimento I

As premissas necessárias para conduzir a análise de variância foram testadas e confirmadas. Nas tabelas 4 e 5, são apresentadas as médias das variáveis de consumo cumulativo de ração, peso corporal, ganho de peso semanal, conversão alimentar e eficiência de utilização de ração nas fases de 1 – 21 e de 22 – 42 dias de idade, correspondendo aos níveis de 0,852% e de 0,759%, respectivamente. Não foi observado efeito ($p > 0,05$) entre as fontes avaliadas nos níveis de L-treonina nas dietas.

Tabela 4. Consumo de ração (g/ave), peso corporal (g/ave), ganho de peso (g/ave), conversão alimentar e eficiência de utilização de frangos de corte, aos 7, 14 e 21 dias de idade, dieta com L- treonina biomassa 80% e L-treonina 98,5% pelo método direto

Variáveis	Fonte		Geral	SEM	CV, %	P- valor
	Tre 80%	Tre 98,5%				
Consumo cumulativo						
7 dias	166,0	169,0	167,5	1,3	3,41	0,268
14 dias	599,1	606,4	602,8	3,8	2,82	0,349
21 dias	1329,6	1334,0	1331,8	7,0	2,40	0,762
Peso corporal						
7 dias	198,2	202,0	200,1	1,3	2,81	0,155
14 dias	568,8	574,1	571,5	3,8	3,04	0,505
21 dias	1131,0	1116,6	1123,8	9,2	3,69	0,449
Ganho de peso						
7 dias	157,8	161,4	159,6	1,3	3,48	0,163
14 dias	528,4	533,6	531,0	3,8	3,26	0,516
21 dias	1090,5	1076,1	1083,3	9,2	3,83	0,445
Conversão alimentar						
7 dias	1,052	1,047	1,049	0,004	1,86	0,514
14 dias	1,134	1,137	1,135	0,005	2,01	0,839
21 dias	1,220	1,241	1,230	0,008	2,67	0,167
Eficiência de utilização						
7 dias	0,950	0,956	0,953	0,004	1,82	0,504
14 dias	0,882	0,880	0,881	0,004	2,01	0,793
21 dias	0,820	0,807	0,813	0,005	2,63	0,175

SEM: Erro padrão da média. ANOVA: Análise de variância. CV: Coeficiente de variação.

Tabela 5. Consumo de ração (g/ave), peso corporal (g/ave), ganho de peso (g/ave), conversão alimentar e eficiência de utilização de frangos de corte, aos 28, 35 e 42 dias de idade, dieta com L-treonina-biomassa 80% e L-treonina 98,5% pelo método direto

Variáveis	Fonte		Geral	SEM	CV, %	P- valor
	Thr 80%	Thr 98,5%				
Consumo cumulativo						
28 dias	954,4	954,3	954,4	7,4	3,58	0,994
35 dias	2423,2	2367,5	2395,4	19,7	3,57	0,163
42 dias	3884,5	3816,8	2896,3	27,0	3,1	0,220
Peso corporal						
28 dias	1870,5	1874,0	1872,2	7,3	1,79	0,819
35 dias	2760,4	2752,0	2756,2	17,5	2,92	0,817
42 dias	3672,7	3642,5	3657,6	19,6	3,69	0,459
Ganho de peso						
28 dias	705,5	708,0	706,7	7,7	5,03	0,878
35 dias	1595,4	1586,0	1590,7	18,0	5,19	0,801
42 dias	2507,7	2476,5	2492,1	20,3	3,69	0,459
Conversão alimentar						
28 dias	1,354	1,349	1,352	0,007	2,38	0,745
35 dias	1,520	1,495	1,508	0,011	3,31	0,259
42 dias	1,550	1,542	1,163	0,007	2,18	0,588
Eficiência de utilização						
28 dias	0,522	0,525	0,524	0,008	6,95	0,822
35 dias	0,658	0,670	0,664	0,005	3,22	0,236
42 dias	0,646	0,649	0,861	0,003	2,15	0,571

SEM: Erro padrão da média. ANOVA: Análise de variância. CV: Coeficiente de variação.

Na figura 1, é representado graficamente os valores de conversão alimentar para as fases avaliadas. Para a fase de 1 – 21 dias de idade, correspondendo ao nível de 0,852% (Figura 1 **A**) foi observado redução de aproximadamente 2% na conversão alimentar quando os animais receberam dietas suplementadas com a L-treonina de biomassa 80%. Entretanto, para a fase de 22 – 42 dias de idade (Figura 1 **B**), correspondendo ao nível de 0,759%, observou-se o inverso. O tratamento com suplementação de L-treonina 98,5% apresentou redução de aproximadamente 1%.

Quando analisadas as médias de composição corporal obtidas pela tecnologia de absorciometria de raios X de dupla energia (DEXA) (Tabela 6), não foi observado diferença nas variáveis avaliadas entre as fontes de L-treonina em ambas as fases de produção de frangos de corte.

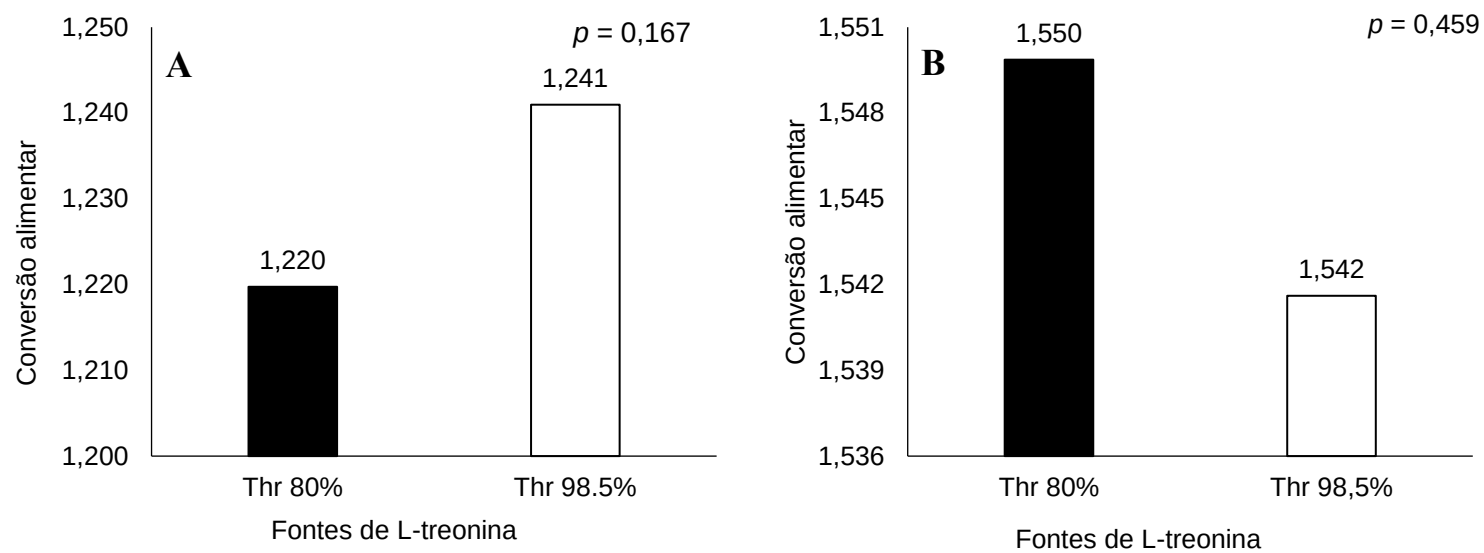


Figura 1. Conversão alimentar de frangos de corte alimentados com dietas com L-treonina biomassa 80% e L-treonina 98,5%. A (1 – 21 dias de idade), B (22 – 42 dias de idade), preenchimento preto (L-Treonina-Biomassa 80%) e preenchimento branco (L-Treonina 98,5%)

Tabela 6. Avaliação in vivo da composição corporal de frangos de corte aos 21 e 42 dias de idade alimentados com dietas contendo L-treonina biomassa 80% e L-treonina 98,5% utilizando o método direto

Variável	Fase de 1 - 21 dias de idade						Fase de 22 - 42 dias de idade					
	Fonte		Geral	SEM	CV, %	P-Valor	Fonte		Geral	SEM	CV, %	P-Valor
	Thr 80%	Thr 98,5%					Thr 80%	Thr98,5%				
Peso corporal, g/ave	1082,4	1085,6	1084,0	6,3	2,68	0,808	3560,4	3508,1	3534,3	27,9	3,54	0,363
Massa total, g/ave	1060,1	1062,4	1061,2	6,3	2,71	0,862	3574,3	3512,0	3543,2	30,5	3,84	0,320
Densidade mineral óssea, g/cm ²	177,9	169,0	173,4	3,1	7,64	0,151	219,4	224,6	222,0	2,0	3,95	0,195
Peso corporal livre de penas, g/ave	925,0	927,0	926,0	5,6	2,76	0,863	3200,7	3143,7	3172,2	27,9	3,93	0,320
Peso das penas, g/ave	135,1	135,3	135,2	0,7	2,30	0,854	373,7	368,3	371,0	2,6	3,14	0,322
Proteína das penas	113,5	113,7	113,6	0,6	2,30	0,846	313,9	309,4	311,6	2,2	3,14	0,321
Composição corporal, g/kg												
Proteína	137,4	136,5	136,9	1,2	3,88	0,685	150,2	150,0	150,1	5,5	3,67	0,935
Água	664,3	659,9	662,1	5,0	3,45	0,674	631,0	631,5	631,3	4,9	3,47	0,960
Gordura	109,6	110,7	110,2	1,1	4,35	0,614	141,1	140,8	140,9	1,6	4,95	0,919
Cinza	27,4	25,7	26,5	0,6	10,68	0,182	24,1	24,8	24,5	0,4	4,23	0,177
Deposição corporal, g/ave												
Proteína	127,1	126,6	126,8	1,4	4,96	0,864	483,9	471,5	477,7	4,7	4,28	0,192
Água	614,3	612,1	613,2	5,9	4,45	0,860	2031,6	1984,8	2008,2	17,6	3,83	0,191
Gordura	101,5	102,6	102,1	1,2	5,36	0,647	447,1	442,8	444,9	8,2	8,48	0,804
Cinza	24,6	23,7	24,2	0,5	9,74	0,415	76,1	79,1	77,6	1,2	6,61	0,210

SEM: Erro padrão da média. ANOVA: Análise de variância. CV: Coeficiente de variação.

As variáveis de rendimento de carcaça de frangos de corte aos 42 dias de idade, apresentadas em g/frango e g/kg (Tabela 7), não foram afetadas pelas fontes de L-treonina avaliadas nesta pesquisa em ambos os níveis de treonina na dieta.

Tabela 7. Rendimento de carcaça de frangos de corte machos aos 42 dias de idade alimentados com dietas contendo L-treonina-biomassa 80% e L-treonina 98,5% usando o método direto

Variável	Fonte		Geral	SEM	CV, %	P-valor
	Thr 80%	Thr 98,5%				
Peso, g/ave						
Peso em jejum	3626,0	3626,0	3626,0	24,0	3,02	0,997
Carcaça	2802,0	2774,0	2788,0	24,0	3,90	0,570
Peito	1212,0	1179,0	1196,0	12,0	4,48	0,195
Dorso	535,0	546,0	541,0	5,0	3,85	0,291
Coxa + sobrecoxa	773,9	787,0	780,1	8,4	4,8	0,434
Asa	273,0	276,0	274,0	3,0	4,19	0,469
Gordura abdominal	38,6	42,5	40,6	2,0	22,24	0,349
Baço	2,8	3,0	2,9	0,1	13,12	0,517
Rendimento, g/kg						
Carcaça	772,7	765,1	768,9	4,0	2,3	0,356
Peito	432,6	425,4	429,0	4,2	4,4	0,400
Dorso	192,7	195,8	194,3	1,8	4,2	0,395
Coxa + sobrecoxa	213,0	217,0	215,0	1,5	3,0	0,193
Asa	97,3	99,7	98,5	1,0	4,3	0,228
Gordura abdominal	13,8	15,3	14,5	0,7	21,3	0,287
Baço	1,0	1,1	1,0	0,03	13,2	0,437

SEM: Erro padrão da média. ANOVA: Análise de variância. CV: Coeficiente de variação.

Experimento II

As premissas para a análise de variância foram testadas e confirmadas. Na tabela 8, são apresentadas as médias de consumo diário de ração, ganho de peso diário, conversão alimentar e eficiência de utilização de ração em frangos de corte na fase de 1 – 21 dias de idade. Todas as variáveis foram influenciadas pelos tratamentos avaliados ($P < 0,01$). Apenas não foram observados efeitos de regressão linear e quadrática ($P > 0,01$) nas variáveis de conversão alimentar e eficiência de utilização de ração aos 21 dias de idade. Porém, estas variáveis apresentaram efeito à $P < 0,05$. A dieta controle apresentou menores médias em todas as variáveis analisadas.

A dieta controle, referente ao nível de 5,96 gramas de treonina por quilograma de ração, reduziu o consumo diário em aproximadamente 7% ($7\% = [1 - 22,6/24,2] \times 100$), comparado ao maior nível de treonina na dieta (7,66 g/kg) em ambas as fontes. A ingestão diária de treonina na dieta basal foi reduzida em

aproximadamente 27% em todas as semanas de avaliação (Tabela 9) ($27\% = [1 - 134,8/185,5] \times 100$). O ganho de peso diário apresentou redução de aproximadamente 13% quando comparado o nível de 5,96 g/kg ao de 7,66 g/kg em ambas as fontes avaliadas. Enquanto a conversão alimentar aumentou 6%.

A biodisponibilidade relativa de L-treonina de biomassa 80% em relação a L-treonina 98,5% na fase de 1 – 21 dias de idade, foi ajustada por meio de um modelo de regressão linear com base nas variáveis de consumo diário de ração, ganho de peso diário, conversão alimentar, eficiência de utilização alimentar, deposição de treonina e eficiência de utilização de treonina (Tabela 10). A BRV da L-treonina de biomassa 80% foi de 101% ($101\% = [1 - 12,2 \div 12,0] \times 100$). Ao examinar a hipótese de intercepto para a variável de consumo diário de ração, a diferença estimada para a dieta basal foi de 9,5 ($P = 0,008$). Não houve diferença entre as fontes de L-treonina avaliadas ($P = 0,270$) permitindo a utilização de um único intercepto para ambas as linhas ajustadas.

Para a variável de ganho de peso diário, a RBV foi de 100% ($100\% = [21,2 \div 21,1] \times 100$), a diferença estimada na hipótese de intercepto para a dieta basal foi de 16,0 ($P = 0,049$), não houve diferença entre as fontes utilizadas ($P = 0,233$). No que se refere a conversão alimentar, a RBV foi de 100% ($100\% = [1 - 0,3 \div 0,3] \times 100$) a diferença estimada na hipótese de intercepto para dieta basal foi de -0,305 ($P = 0,050$), não houve diferença entre as fontes avaliadas ($P = 0,127$).

Para eficiência de utilização alimentar, a RBV foi calculada em 107% ($107\% = [306,6 \div 286,2] \times 100$) a diferença estimada para a dieta basal foi de 0,298 ($P = 0,042$), não houve diferença entre as fontes avaliadas ($P = 0,201$). Já para a variável de deposição diária de treonina, a RBV foi de 103% ($103\% = [148,0 \div 144,0] \times 100$). A dieta basal reduziu 171,7 ($P = 0,009$) a diferença estimada na hipótese de intercepto, quando avaliada as fontes de L-Thr, não foi observado efeito ($P = 0,912$). Na variável de eficiência de utilização de treonina a RBV foi de 99% ($99\% = [54,8 \div 55,3] \times 100$). A diferença observada para a dieta basal foi de -750,0 ($P < 0,01$). Na figura 2, as linhas do modelo linear são representadas graficamente. À medida que os níveis de L-Thr aumentam, a eficiência de utilização de Thr é reduzida. Entretanto, não se observou diferença entre as fontes avaliadas ($P = 0,081$).

Tabela 8. Consumo diário de ração (g/ave d), ganho de peso diário (g/ave d), conversão alimentar (g/g) e eficiência de utilização (g/kg) de frangos de corte aos 7, 14 e 21 dias de idade alimentados com dietas contendo L-treonina biomassa 80 % e L-treonina 98,5%

Variáveis	Dieta controle	Fonte de treonina				Geral	SEM	P-valor				CV, %
		L-Treonina Biomassa 800 g/kg		L- Treonina 985 g/kg				ANOVA	Controle vs Outros	Efeito linear	Efeito quadrático	
		Níveis de treonina na dieta, g/kg										
		5,96	6,81	7,66	6,81							
Consumo diário de ração, g/ave												
7 dias	22,6	23,8	24,2	24,3	24,2	23,8	0,1	<0,001	<0,001	<0,001	0,011	3,85
14 dias	40,1	42,7	42,9	42,9	42,8	42,3	0,2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,64
21 dias	59,3	62,5	62,9	62,8	63,6	62,2	0,3	<0,001	<,0001	<,0001	0,003	2,54
Ganho de peso diário, g/ave												
7 dias	19,8	22,2	23,1	22,3	23,1	22,1	0,2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,52
14 dias	33,4	37,2	37,9	37,1	38,1	36,7	0,3	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,21
21 dias	44,7	48,8	51,3	48,8	50,4	48,8	0,5	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	5,13
Feed conversion ratio, g/g												
7 dias	1,145	1,071	1,047	1,089	1,047	1,080	0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,66
14 dias	1,202	1,148	1,134	1,157	1,123	1,153	0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	1,82
21 dias	1,330	1,285	1,226	1,291	1,266	1,280	0,01	<0,001	0,0021	0,028	0,014	4,20
Eficiência de utilização, g/kg												
7 dias	874,0	934,6	955,8	918,7	955,7	927,8	5,4	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,68
14 dias	832,3	871,2	882,0	864,7	890,7	868,2	3,5	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	1,82
21 dias	752,5	779,7	815,8	776,5	791,2	783,1	5,2	<0,001	0,0016	0,025	0,011	4,05

SEM: Erro padrão da média. ANOVA: Análise de variância. CV: Coeficiente de variação.

Tabela 9. Ingestão diária de treonina (g/ave), Deposição diária de treonina (g/ave), Manutenção diária de treonina (g/ave) e Eficiência de utilização de treonina (g/kg) de frangos de corte, aos 7, 14 e 21 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80% e L-treonina 98,5% pelo método razão de inclinação

Variáveis	Dieta controle	Fonte de treonina				Geral	SEM	P-valor				CV, %	
		L-Treonina Biomassa 800 g/kg	L- Treonina 985 g/kg					ANOVA	Controle vs Outros	Efeito linear	Efeito quadrático		
Níveis de treonina na dieta, g/kg													
5,96	6,81	7,66	6,81	7,66									
Consumo diário de treonina, mg/ave													
7 dias de idade	134,8	162,0	185,3	165,4	185,5	166,6	2,8	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,78	
14 dias de idade	239,3	290,6	328,8	292,1	327,8	295,7	4,8	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,49	
21 dias de idade	353,7	425,8	481,9	427,6	487,4	435,3	7,0	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,46	
Deposição diária de treonina, mg/ave													
7 dias de idade	117,6	132,2	137,6	132,7	137,6	131,5	1,2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,52	
14 dias de idade	198,8	221,2	225,3	220,7	226,8	218,6	1,7	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,20	
21 dias de idade	265,7	290,1	305,4	290,2	299,7	290,2	2,8	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	5,14	
Exigência de treonina para manutenção, mg/ave por dia													
7 dias de idade	8,7	9,2	9,4	9,2	9,4	9,2	0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	1,73	
14 dias de idade	17,3	18,6	18,8	18,5	18,9	18,4	0,1	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,09	
21 dias de idade	27,6	29,3	30,3	29,3	29,9	29,3	0,2	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	3,58	
Eficiência de utilização de treonina, g/kg													
7 dias de idade	932,9	865,9	782,1	850,2	782,0	842,6	8,7	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,74	
14 dias de idade	895,8	813,1	726,6	806,7	734,1	795,3	9,0	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	1,84	
21 dias de idade	814,8	731,6	676,3	728,4	654,8	721,2	9,0	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	4,33	

SEM: Erro padrão da média. ANOVA: Análise de variância. CV: Coeficiente de variação.

Tabela 10. Estimativa dos parâmetros de desempenho e biodisponibilidade relativa da L-treonina-biomassa 80% dos frangos de corte machos aos 21 dias de idade

y = Variáveis	Parâmetros	Estimativas	Erro	Biodisponibilidade	Limite inferior	Limite superior
Consumo diário de ração	Intercepto	54,3**	2,0	-	-	-
	$\beta tX_{80\%}$	12,2**	2,8	101%	96%	107%
	$\beta sX_{98,5\%}$	12,0**	2,7	100%	-	-
Ganho de peso diário	Intercepto	37,1**	4,6	-	-	-
	$\beta tX_{80\%}$	21,2**	6,4	100%	94%	108%
	$\beta sX_{98,5\%}$	21,1**	6,4	100%	-	-
Conversão alimentar	Intercepto	1,444**	0,089	-	-	-
	$\beta tX_{80\%}$	0,3**	0,1	100%	91%	108%
	$\beta sX_{98,5\%}$	0,3*	0,1	100%	-	-
Eficiência de utilização	Intercepto	606,9**	84,9	-	-	-
	$\beta tX_{80\%}$	306,6*	117,4	107%	96%	118%
	$\beta sX_{98,5\%}$	286,2*	117,4	100%	-	-
Deposição diária de treonina, g/ave	Intercepto	190,3**	40,1	-	-	-
	$\beta tX_{80\%}$	148,2**	55,4	103%	94%	112%
	$\beta sX_{98,5\%}$	144,0*	55,4	100%	-	-
Eficiência de utilização de treonina, g/kg	Intercepto	796,0**	12,9	-	-	-
	$\beta tX_{80\%}$	54,8**	7,5	99%	83%	116%
	$\beta sX_{98,5\%}$	55,3**	7,5	100%	-	-

** Efeito significativo ($P \leq 0,01$)

* Efeito significativo ($P \leq 0,05$)

^{NS} Não significativo

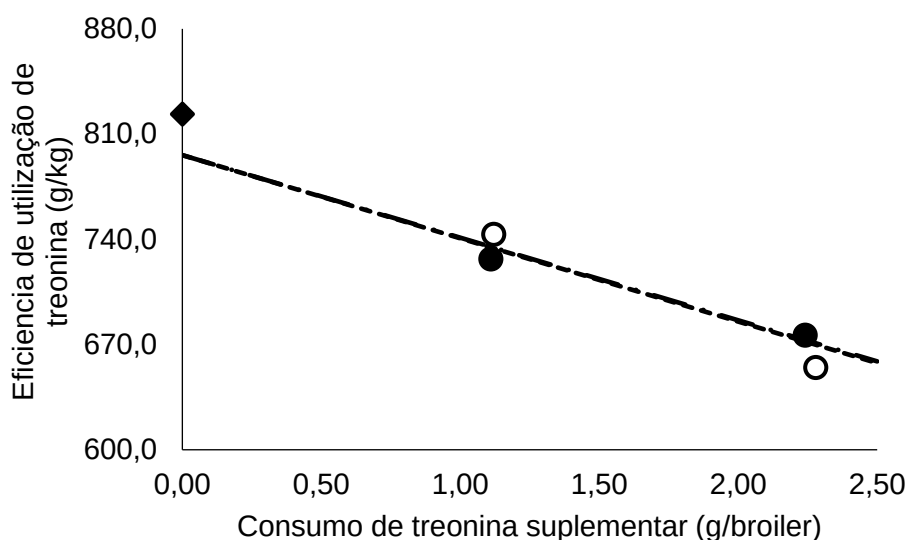


Figura 2. Biodisponibilidade relativa de L-treonina-biomassa 80% e L-treonina 98,5% para eficiência de utilização de treonina com base no modelo de razão de inclinação. ♦, dieta basal; ●, L-treonina-biomassa 80%; ○, L-treonina 98,5%; — . — . —, estimativa L-treonina-biomassa 80%; - - - - -, estimativa L-treonina 98,5%.

Para a composição corporal de frangos de corte na fase de 1 – 21 dias de idade (Tabela 11), apenas as variáveis de proteína da pena, água e cinza em g/kg de frango não foram afetadas pelos tratamentos avaliados. As médias de peso corporal e massa total das aves submetidas à dieta basal (5,96 g/kg) apresentaram redução de 11% e 12% quando comparadas com o nível mais alto (7,66 g/kg), em ambas as fontes avaliadas.

As médias de proteína e de gordura corporal em g/kg de frangos reduziram em 6% e 3%, respectivamente, quando os animais receberam a dieta basal. Todas as variáveis de deposição corporal em g/frango foram influenciadas pelos tratamentos avaliados. A deposição de proteína, água, gordura e cinza em g/frango reduziu em 15%, 13%, 10% e 12%, respectivamente quando as aves foram alimentadas com a dieta basal. Apenas conteúdo de cinzas não apresentou efeito na regressão linear e quadrática.

A RBV da L-treonina de biomassa 80% na fase de 1 – 21 dias de idade com base na deposição de proteína corporal foi de 99% (Tabela 12). A diferença estimada para a hipótese de intercepto para esta variável quando os animais receberam a dieta basal foi de 31,0 ($P = 0,311$), não houve diferença entre as fontes avaliadas para esta variável ($P = 0,315$). Para a água corporal, a

biodisponibilidade foi de 98%. A redução no intercepto na dieta basal foi de 132,5 ($P = 0,319$). Não houve diferença entre as fontes avaliadas para esta variável ($P = 0,315$). Para o conteúdo de gordura corporal, a RBV foi de 102%. A redução provocada pela dieta basal foi de 11,6 ($P = 0,505$), não foi observado diferença entre as fontes avaliadas ($P = 0,475$).

Tabela 11. Avaliação *in vivo* da composição corporal de frangos de corte machos aos 21 dias de idade alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80% e L-treonina 98,5% utilizando o método razão de inclinação

Variáveis	Fontes de treonina					Geral	SEM	p – valor				CV, %
	Dieta Controle	L-Treonina biomassa 800 g/kg		Treonina 985 g/kg				ANOVA	Controle vs Outros	Efeito linear	Efeito quadrático	
		Níveis de treonina na dieta, g/kg										
		5,96	6,81	7,66	6,81							
Peso corporal, g/ave	970,2	1069,6	1078,6	1055,6	1092,6	1056,8	7,7	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	3,33
Massa total, g/ave	943,3	1048,5	1061,3	1034,4	1065,8	1034,3	8,4	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,95
Densidade mineral óssea, g/cm²	175,2	182,6	167,2	169,4	182,3	175,5	2,0	0,039	0,977	0,940	0,079	7,36
Peso das penas, g/ave	821,1	914,6	926,1	902,1	930,1	902,0	7,5	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	4,04
Peso corporal livre de penas, g/broiler	122,2	133,8	135,2	132,3	135,7	132,2	0,9	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,37
Composição corporal, g/kg												
Proteína	134,1	136,2	140,2	138,3	139,8	137,9	0,7	0,027	0,011	<0,001	0,198	2,82
Água	666,4	651,0	670,8	673,5	661,2	664,4	3,5	0,302	0,801	0,627	0,709	3,73
Gordura	106,9	111,7	108,0	107,3	110,0	108,8	0,8	0,007	0,023	0,086	<0,001	5,41
Cinzas	28,3	28,2	25,0	25,3	27,8	26,9	0,4	0,351	0,278	0,777	0,868	8,08
Deposição corporal, g/ave												
Proteína	110,3	122,5	128,6	125,5	127,3	123,0	1,3	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	5,32
Água	541,1	594,8	620,9	607,4	615,4	596,8	5,6	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	4,76
Gordura	102,6	112,3	113,5	111,1	113,9	111,0	0,7	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,37
Cinzas	22,7	25,0	23,2	22,8	25,8	23,9	0,4	0,065	0,080	0,057	0,237	9,60

SEM: Erro padrão da média. ANOVA: Análise de variância. CV: Coeficiente de variação.

Tabela 12. Estimativa dos parâmetros de composição corporal e biodisponibilidade relativa da L-treonina-biomassa 80% de frangos de corte machos aos 1 e 21 dias de idade

y = Variáveis	Parâmetros	Estimativas	Erro	Biodisponibilidade	Limite inferior	Limite superior
Fase de 1 a 21 dias de idade						
Proteína corporal g/ave	Intercepto	81,4**	15,1	-	-	-
	$\beta tX_{80\%}$	62,7**	20,9	99%	91%	107%
	$\beta sX_{98,5\%}$	63,6**	20,9	100%	-	-
Água corporal g/ave	Intercepto	462,1**	77,8	-	-	-
	$\beta tX_{80\%}$	201,7	107,6	98%	85%	111%
	$\beta sX_{98,5\%}$	205,6	107,3	100%	-	-
Gordura corporal g/ave	Intercepto	95,7**	10,2	-	-	-
	$\beta tX_{80\%}$	23,7 ^{NS}	14,0	102%	88%	116%
	$\beta sX_{98,5\%}$	23,2 ^{NS}	14,2	100%	-	-

** Efeito significativo ($P \leq 0,01$)

^{NS} Não significativo

Na tabela 13 são apresentadas as médias de consumo diário de ração, ganho de peso diário, conversão alimentar e eficiência de utilização alimentar na fase de 22 – 42 dias de idade. A dieta basal, referente ao nível de 5,11 g/kg, promoveu redução das médias em todas as variáveis analisadas se comparadas com os demais níveis (6,08 g/kg, 6,84 g/kg) em ambas as fontes. O mesmo efeito foi observado na tabela 14, quando avaliada as médias de consumo diário de treonina, deposição diária de treonina, exigência diária de treonina para manutenção e eficiência de utilização de treonina.

Quando o consumo de ração foi reduzido em apenas 4% no nível de 5,11 g/kg, na última semana experimental, o consumo de treonina foi reduzido em 28%. Consequentemente, o ganho de peso na mesma semana reduziu 7% e a conversão alimentar 11%.

Tabela 13. Consumo diário de ração (g/ave dia), Ganho diário de peso corporal (g/ave dia), Conversão alimentar (g/g) e Eficiência alimentar (g/kg) de frangos de corte, aos 28, 35 e 42 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80% e L-treonina 98,5% pelo método razão de inclinação

Variável	Dieta controle	Fonte de treonina				Geral	SEM	p-valor				CV, %
		L-Treonina Biomassa 800 g/kg	L- Threonine 985 g/kg					ANOVA	Controle vs Outros	Efeito linear	Efeito quadrático	
				Níveis de treonina na dieta, g/kg								
	5,11	6,08	6,84	6,08	6,84							
Consumo diário de ração, g/ave												
28 dias de idade	133,0	139,3	137,6	136,6	137,9	136,9	0,6	0,011	0,0013	0,084	0,052	2,84
35 dias de idade	166,8	177,7	173,5	173,1	175,2	173,2	0,9	0,001	<0,001	0,017	0,025	2,98
42 dias de idade	180,2	190,6	183,4	184,4	187,5	185,2	0,9	0,002	0,0015	0,107	0,309	2,99
Ganho de peso diário, g/ave												
28 dias de idade	83,0	98,8	100,8	97,0	102,8	96,5	1,1	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,92
35 dias de idade	94,5	111,3	111,0	110,0	116,1	108,6	1,2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,49
42 dias de idade	102,2	117,6	116,5	116,9	122,1	115,1	1,1	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,23
Conversão alimentar, g/g												
28 dias de idade	1,603	1,410	1,366	1,409	1,342	1,426	0,014	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	1,93
35 dias de idade	1,765	1,597	1,563	1,574	1,509	1,602	0,013	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,38
42 dias de idade	1,764	1,621	1,574	1,578	1,536	1,615	0,012	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,11
Eficiência alimentar, g/kg												
28 dias de idade	624,1	709,3	732,3	710,2	745,3	704,3	6,3	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	1,95
35 dias de idade	567,0	626,6	640,1	635,5	663,0	626,5	5,0	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,38
42 dias de idade	567,1	617,3	635,3	633,7	651,1	620,9	4,5	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,02

SEM: Erro padrão da média. ANOVA: Análise de variância. CV: Coeficiente de variação.

Tabela 14. Ingestão diária de treonina (g/ave), Deposição diária de treonina (g/ave), Manutenção diária de treonina (g/ave) e Eficiência de utilização de treonina (g/kg) dos frangos de corte machos aos 28, 35 e 42 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80% e L-treonina 98,5% pelo método razão de inclinação

Variáveis	Dieta controle	Fontes de treonina				Geral	SEM	p-valor				CV, %
		L-Treonina biomassa 800 g/kg	L- Treonina 985 g/kg									
	Níveis de treonina na dieta, g/kg							ANOVA	Controle vs Outro	Efeito linear	Efeito quadrático	
	5,11	6,08	6,84	6,08	0,684							
Consumo diário de treonina, mg/ave												
28 dias de idade	679,8	847,1	941,0	830,3	943,0	848,2	14,1	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,85
35 dias de idade	852,2	1080,2	1186,5	1052,2	1198,5	1073,9	18,3	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,92
42 dias de idade	921,0	1158,7	1254,5	1121,4	1282,8	1147,7	18,9	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,00
Deposição diária de treonina, mg/ave												
28 dias de idade	529,2	630,0	642,3	618,6	655,2	615,1	7,2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,92
35 dias de idade	602,5	709,7	707,7	701,4	740,4	692,3	7,5	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,49
42 dias de idade	651,5	749,8	742,8	745,3	778,1	733,5	6,9	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,23
Exigência de manutenção de treonina, mg/ave												
28 dias de idade	60,5	62,3	62,5	61,9	62,7	62,0	0,1	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,83
35 dias de idade	71,7	75,2	75,2	74,8	76,2	74,7	0,2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	1,02
42 dias de idade	83,6	88,1	87,8	87,8	89,4	87,3	0,3	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	1,27
Eficiência de utilização de treonina, mg/kg												
28 dias de idade	854,7	802,7	731,1	804,8	744,2	787,5	6,7	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	1,91
35 dias de idade	772,4	706,3	637,0	717,4	659,9	698,6	7,1	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,48
42 dias de idade	778,2	700,6	636,7	720,9	652,3	697,7	7,5	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,20

SEM: Erro padrão da média. ANOVA: Análise de variância. CV: Coeficiente de variação.

A RBV da L-treonina de biomassa 80% na fase de 22 – 42 dias de idade determinada com base nas variáveis de consumo diário de ração, ganho de peso diário, conversão alimentar, eficiência de utilização alimentar, deposição de treonina e eficiência de utilização de treonina são apresentados na tabela 15. A RBV para consumo diário de ração foi de 95%, ao avaliar a hipótese de intercepto, foi observado a diferença para a dieta basal de -37,5 ($P = 0,235$). Não houve diferença entre as fontes de L-treonina avaliadas ($P = 0.432$), permitindo a utilização do mesmo intercepto para ambas as fontes avaliadas.

Tabela 15. Estimativa dos parâmetros de desempenho e biodisponibilidade relativa de L-treonina-biomassa 80% de frangos de corte machos aos 42 dias de idade

y = Variáveis	Parâmetro s	Estimativa s	Erro	Biodisponibilid e	Limite inferio r	Limite superio r
Consumo diário	Intercepto	200,1**	12,6	-	-	-
	$\beta tX_{80\%}$	20,7 ^{NS}	17,9	95%	72%	118%
	$\beta sX_{98,5\%}$	21,8 ^{NS}	18,1	100%	-	-
Ganho de peso diário	Intercepto	95,3**	9,9	-	-	-
	$\beta tX_{80\%}$	35,1*	15,6	101%	74%	127%
	$\beta sX_{98,5\%}$	34,8*	15,5	100%	-	-
Conversã o alimentar	Intercepto	1,946**	0,06	-	-	-
	$\beta tX_{80\%}$	0,55**	0,10	96%	91%	101%
	$\beta sX_{98,5\%}$	0,57**	0,10	100%	-	-
Eficiencia de utilização	Intercepto	518,0**	26,2	-	-	-
	$\beta tX_{80\%}$	175,0**	40,2	97%	91%	103%
	$\beta sX_{98,5\%}$	180,5**	40,4	100%	-	-
Deposição diária de treonina, mg/ave	Intercepto	618,0**	72,8	-	-	-
	$\beta tX_{80\%}$	197,5 ^{NS}	113, 1	90%	74%	106%
	$\beta sX_{98,5\%}$	218,8 ^{NS}	111, 7	100%	-	-
Eficiência de utilização de treonina, g/kg	Intercepto	791,0**	6,7	-	-	-
	$\beta tX_{80\%}$	23,0**	1,2	110%	103%	116%
	$\beta sX_{98,5\%}$	21,0**	1,1	100%	-	-

** Efeito significativo ($P \leq 0,01$)

* Efeito significativo ($P \leq 0,05$)

^{NS} Não significativo

Para a variável de ganho de peso diário, a RBV foi de 101%. A diferença obtida pela hipótese de estimativa de intercepto foi de 13,4 ($P = 0.499$). Não houve diferença entre as fontes avaliadas para esta variável ($P = 0.127$). A conversão alimentar apresentou a RBV de 96%, a diferença observada na

hipótese de intercepto foi -0,38 ($P = 0,008$). Entretanto, não houve efeito entre as fontes avaliadas ($P = 0,606$). A diferença observada no intercepto para a eficiência de utilização na dieta basal foi de 0,10 ($P = 0,051$) com RBV de 97%. Não foi observado diferença entre as fontes de L-treonina avaliadas ($P = 0,235$).

No que se refere à deposição diária de treonina, a diferença observada na hipótese de intercepto para a dieta basal foi de 71,4 ($P = 0,620$). Não houve diferença entre as fontes avaliadas ($P = 0,482$). Na figura 3, é apresentado o gráfico contendo as linhas do modelo linear para a variável de eficiência de utilização de treonina em frangos de corte na fase de 22 – 42 dias de idade. A dieta basal apresentou a diferença de 140,0 ($P = 0,613$). A partir da suplementação das rações com L-thr, independente das fontes, observou-se redução na eficiência de utilização deste aminoácido. A RBV para esta variável foi de 110%, não apresentado efeito das fontes avaliadas ($P = 0,886$).

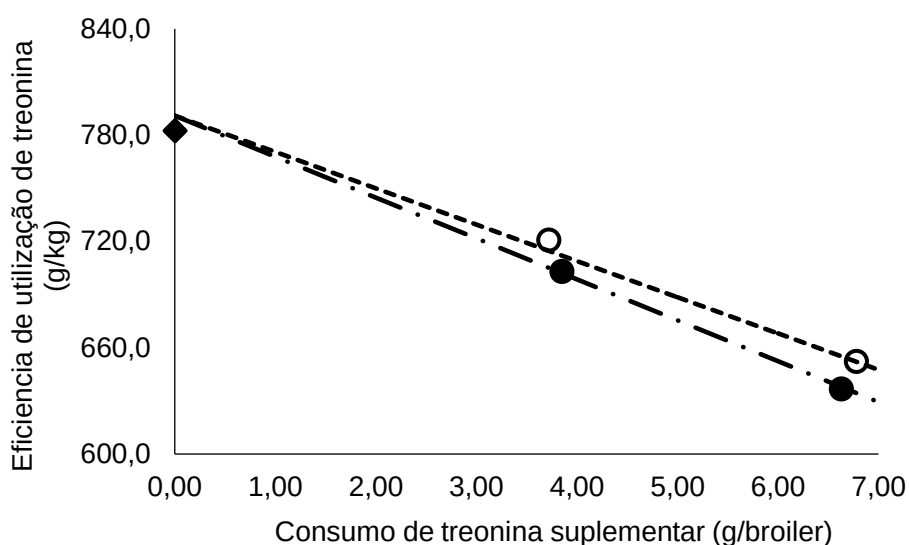


Figura 3. Biodisponibilidade relativa de L-treonina-biomassa 80% e L-treonina 98,5% para eficiência de utilização de treonina com base no modelo de razão de inclinação. ♦, Dieta basal; ●, L-treonina-biomassa 80%; ○, L-Treonina 98,5%; — . — . —, Estimativa de L-treonine-biomassa 80%; - - - - -, Estimativa de L-treonina 98,5%.

Na tabela 16 são apresentadas as médias da composição corporal obtidas pela metodologia DEXA em frangos de corte com 42 dias de idade. Os tratamentos avaliados não afetaram a densidade mineral, proteína, água, gordura e cinza corporal em g/kg.

A dieta basal (5,11 g/kg) provocou a redução nas médias de todas as variáveis analisadas, as quais apresentaram aumento conforme houve a suplementação de L-treonina em 6,08 g/kg e 6,84 g/kg, independente das fontes analisadas.

Tabela 16. Avaliação *in vivo* da composição corporal de frangos de corte machos aos 42 dias de idade alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80% e L-treonina 98,5% utilizando o método razão de inclinação

Variáveis	Fontes de treonina					Geral	SEM	p-value				CV, %	
	Dieta control e	L-Treonina biomassa 800 g/kg		Treonina 985 g/kg				ANOVA	Contro le vs outros	Efeito linear	Efeito quadrático		
		Níveis de treonina na dieta, g/kg											
		5,11	6,08	6,84	6,08								6,84
Peso corporal, g/ave	3238,8	3538,4	3531,1	3543,5	3665,6	3502,6	26,7	<0,001	<0,001	<0,001	0,030	3,56	
Massa total, g/ave	3269,8	3542,2	3553,3	3556,2	3689,4	3527,3	25,7	<0,001	<0,001	<0,001	0,062	3,51	
Densidade mineral óssea, g/cm²	219,0	219,4	217,8	221,3	226,1	220,7	1,5	0,455	0,586	0,143	0,271	4,87	
Peso corporal livre de penas, g/ave	2922,4	3171,4	3181,4	3184,2	3305,9	3157,2	23,9	<0,001	<0,001	<0,001	0,067	3,63	
Peso das penas, g/ave	347,4	370,8	371,9	372,1	383,4	369,5	2,2	<0,001	<0,001	<0,001	0,062	2,91	
Composição corporal, g/kg													
Proteína	145,5	150,2	147,2	150,3	149,6	148,6	0,7	0,147	0,033	0,097	0,429	3,37	
Água	619,8	631,8	620,3	631,8	626,9	626,1	2,6	0,415	0,232	0,447	0,685	2,97	
Gordura	142,4	140,8	144,2	141,2	142,9	142,3	0,7	0,635	0,950	0,786	0,967	3,81	
Cinzas	25,3	24,3	24,1	24,2	24,7	24,5	0,2	0,433	0,093	0,430	0,083	6,28	
Deposição corporal, g/ave													
Proteína	422,3	476,3	468,6	478,8	488,4	466,2	4,7	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	5,18	
Água	1798,6	2003,1	1973,9	2012,4	2048,6	1964,7	18,0	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	4,64	
Gordura	413,4	447,0	458,8	449,5	472,3	448,2	4,4	0,001	<0,001	<0,001	0,163	5,62	
Cinzas	73,4	77,2	76,8	77,4	81,7	77,3	0,8	0,035	0,018	0,004	0,745	7,20	

SEM: Erro padrão da média. ANOVA: Análise de variância. CV: Coeficiente de variação.

Quando comparadas as médias das variáveis de deposição em g/frango na dieta basal com as médias mais altas obtidas no nível de 6,84 g/kg a partir da suplementação de L-treonina 98,5%, observou-se redução de aproximadamente 13%, 12%, 12% e 10%, respectivamente para as variáveis de proteína, água, gordura e cinza.

A biodisponibilidade de L-treonina de biomassa 80% em relação a L-treonina 98,5% para as variáveis de deposição de proteína corporal e gordura corporal (g/frango) foi de 96%, para ambas (Tabela 17). Quando avaliada a hipótese de intercepto, a dieta basal apresentou diferença de -225,0 ($P = 0.050$). Não houve diferença entre as fontes de L-treonina avaliadas (0,731) na variável de deposição de proteína. Já para a variável de gordura corporal, a diferença observada na hipótese de intercepto foi de 321,0 ($P = 0,003$). Não se observou diferença entre as fontes avaliadas ($P = 0,267$).

Tabela 17. Estimativa dos parâmetros de composição corporal e biodisponibilidade relativa de L-treonina-biomassa 80% de frangos de corte machos aos 22 e 42 dias de idade

y = Variáveis	Parâmetros	Estimativas	Erro	Biodisponibilidade	Límite inferior	Límite superior
Fase de 22 a 42 dias de idade						
Proteína corporal g/ave	Intercepto	537,3**	55,7	-	-	-
	$\beta tX_{80\%}$	90,3 ^{NS}	86,2	96%	71%	120%
	$\beta sX_{98,5\%}$	94,3 ^{NS}	87,3	100%	-	-
Gordura corporal g/ave	Intercepto	253,5**	51,4	-	-	-
	$\beta tX_{80\%}$	305,0**	79,2	96%	90%	102%
	$\beta sX_{98,5\%}$	316,2**	79,2	100%	-	-

** Efeito significativo ($P \leq 0.01$)

^{NS} Não significativo

Na tabela 18 são apresentadas as médias de rendimento de carcaça em g/frango e g/kg. A deficiência em treonina não influenciou as variáveis de peso da gordura abdominal e peso do baço tanto para g/frango quanto para g/kg. O peso da carcaça no tratamento com 5.11 g de treonina por kg de ração apresentou redução de aproximadamente 11% e 12%, se comparada com os maiores níveis de suplementação com L-treonina-biomassa 80% de L-treonina 98,5%, respectivamente.

Para a variável de peso do peito, a redução provocada pela limitação de Thr na dieta basal foi de aproximadamente 17%, independente da fonte de L-

treonina utilizada. As médias de peso de coxa + sobrecoxa de frangos alimentados com dieta basal, isenta de L-treonina foram 9% inferiores em relação às aquelas obtidas a partir de dietas suplementadas com L-Treonina. Enquanto para a variável de peso de asa a redução observada nas médias da dieta basal são de aproximadamente 10%.

As variáveis de rendimento quando avaliadas em g/kg, apresentaram redução semelhante às aquelas apresentadas em g/frango, com exceção do peso do peito que, o nível de 6.08 g/kg apresentou valor superior entre os tratamentos.

Tabela 18. Rendimento de carcaça de frangos de corte com 42 dias de idade alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80% e L-treonina 98,5% utilizando o método razão de inclinação

Variáveis	Fontes de treonina					Geral	SEM	p-valor				CV, %
	Dieta control e	L-Treonina biomassa 800 g/kg	Treonina 985 g/kg					ANOVA	Controle vs outros	Efeito linear	Efeito quadrático	
Níveis de Treonina nas dietas, g/kg												
5,11	6,08	6,84	6,08	6,84								
Peso, g/ave												
Corpo em jejum	3304,4	3640,0	3658,0	3600,1	3692,2	3569,1	24,9	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	1,98
Carcaça	2487,1	2767,9	2772,0	2748,6	2807,2	2722,6	21,0	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,11
Peito	995,9	1169,8	1197,4	1177,0	1199,8	1154,8	13,6	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	4,25
Coxa + sobrecoxa	722,7	763,1	781,6	755,7	789,0	759,4	5,8	<0,001	<0,001	<0,001	0,136	3,72
Asa	249,6	267,4	277,5	268,2	277,0	267,9	1,9	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,33
Gordura abdominal	44,5	44,3	45,2	47,2	44,1	45,0	1,3	0,957	0,863	0,763	0,719	21,4
Baço	2,9	2,9	2,9	3,0	2,8	2,9	0,05	0,901	0,770	0,816	0,350	14,4
Rendimento, g/kg												
Carcaça	654,6	734,5	741,5	731,4	740,6	720,5	6,0	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,8
Peito	265,6	319,4	315,9	310,0	314,0	305,0	3,7	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	5,7
Coxa + sobrecoxa	190,7	202,5	206,2	205,4	208,7	202,7	1,6	0,003	<0,001	<0,001	0,089	5,1
Asa	65,8	71,1	73,2	71,2	73,0	70,9	0,5	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,6
Gordura abdominal	11,7	11,3	11,4	12,8	11,6	11,8	0,3	0,708	0,922	0,541	0,895	22,6
Baço	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,01	0,326	0,785	0,700	0,332	15,3

SEM: Erro padrão da média. ANOVA: Análise de variância. CV: Coeficiente de variação.

A biodisponibilidade de L-treonina de biomassa 80% relativa à L-treonina 98,5% analisada com base no rendimento de carcaça está apresentada na tabela 19. Para a variável de peso do animal em jejum, a biodisponibilidade relativa foi de 101%. Quando avaliada a hipótese de intercepto para esta variável, a dieta basal apresentou diferença de 255,3 ($P = 0,557$). Não houve diferença entre as fontes avaliadas ($P = 0,150$).

Para a variável de peso de carcaça, a RBV foi de 97%, com estimativa no intercepto de -17,8 ($P = 0,907$). Não foi observado efeito entre as fontes avaliadas ($P = 0,352$). A RBV para a variável de peso do peito foi de 98%. A diferença obtida pela dieta basal pela hipótese de intercepto foi de 46,8 ($P = 0,869$). Não houve diferença entre as fontes de treonina avaliadas ($P = 0,874$).

A RBV com base na análise de coxa + sobrecoxa foi de 100%. Para esta variável a diferença observada na dieta basal pela hipótese de intercepto foi de 46,8 ($P = 0,869$). Não houve efeito entre as fontes de L-treonina avaliadas ($P = 0,874$). Para a variável de peso da asa, a RBV foi de 100%. Quando avaliado a hipótese de intercepto a diferença apresentada pela dieta basal foi de 111,9 ($P = 0,025$). Não houve diferença entre as fontes avaliadas ($P = 0,805$).

Tabela 19. Estimativa dos parâmetros de rendimento de carcaça e biodisponibilidade relativa de L-treonina-biomassa 80% de frangos de corte machos aos 42 dias de idade (g/ave)

y = Variáveis	Parâmetro s	Estimativa s	Erro	Biodisponibilid ade	Limite inferio r	Limite superio r
Corpo em jejum	Intercepto	3174,0**	218,8	-	-	-
	$\beta tX_{80\%}$	741,0*	343,8	101%	90%	112%
	$\beta sX_{98,5\%}$	729,0*	341,2	100%	-	-
Carcaça	Intercepto	2496,2**	240,6	-	-	-
	$\beta tX_{80\%}$	423,6 ^{NS}	373,9	97%	90%	103%
	$\beta sX_{98,5\%}$	431,1 ^{NS}	371,3	100%	-	-
Peito	Intercepto	972,0**	143,8	-	-	-
	$\beta tX_{80\%}$	328,0 ^{NS}	220,3	98%	82%	114%
	$\beta sX_{98,5\%}$	334,7 ^{NS}	221,8	100%	-	-
Coxa + sobrecoxa	Intercepto	554,6**	88,6	-	-	-
	$\beta tX_{80\%}$	337,1*	137,7	100%	90%	109%
	$\beta sX_{98,5\%}$	337,4*	137,2	100%	-	-
Asa	Intercepto	192,3**	24,5	-	-	-
	$\beta tX_{80\%}$	124,0**	37,8	100%	93%	107%
	$\beta sX_{98,5\%}$	124,2**	37,8	100%	-	-

** Efeito significativo ($P \leq 0,01$)

* Efeito significativo ($P \leq 0,05$)

^{NS} Não significativo

Na tabela 20, está descrita a biodisponibilidade de L-treonina de biomassa 80% em relação a L-treonina 98,5% com base no rendimento de carcaça em g/kg. Para a variável de carcaça, a biodisponibilidade foi de 104%. A diferença observada na dieta basal com base na hipótese de intercepto foi de 34,6 ($P = 0,815$). Não foi observado diferença entre as fontes de L-treonina avaliada ($P = 0,513$).

Para a variável de peso do peito, a RBV foi de 98%. A diferença observada na dieta basal no intercepto foi de 6.5 ($P = 0,938$). Não foi observado diferença entre as fontes de L-treonina avaliadas ($P = 0,876$). Já para a variável de coxa+sobrecoxa, a RBV foi de 97%. A diferença apresentada pela dieta basal foi de 103.9 ($P = 0,032$). Não foi observado diferença entre as fontes de L-thr avaliadas ($P = 0,429$). Para peso da asa, a RBV determinada foi de 100%. A diferença observada na dieta basal na hipótese de intercepto foi de 21.4 ($P = 0.150$). Não houve diferença entre as fontes avaliadas ($P = 0,866$).

Tabela 20. Estimativa dos parâmetros de rendimento de carcaça e biodisponibilidade relativa de L-treonina-biomassa 80% de frangos de corte machos aos 42 dias de idade (g/kg)

y = Variáveis	Parâmetro s	Estimativa s	Erro	Biodisponibilida de	Limite inferio r	Limite superio r
Carcaça	Intercepto	702,3**	74,9	-	-	-
	$\beta tX_{80\%}$	156,1 ^{NS}	117,3	104%	85%	125%
	$\beta sX_{98,5\%}$	149,0 ^{NS}	115,6	100%	-	-
Peito	Intercepto	279,1**	42,9	-	-	-
	$\beta tX_{80\%}$	94,5 ^{NS}	65,7	98%	81%	115%
	$\beta sX_{98,5\%}$	96,4 ^{NS}	66,2	100%	-	-
Coxa + Sobrecox a	Intercepto	151,5**	23,7	-	-	-
	$\beta tX_{80\%}$	106,9**	36,9	97%	89%	105
	$\beta sX_{98,5\%}$	110,0**	36,6	100%	-	-
Asa	Intercepto	60,7**	7,4	-	-	-
	$\beta tX_{80\%}$	27,6*	11,5	100%	90%	109%
	$\beta sX_{98,5\%}$	27,6*	11,5	100%	-	-

** Efeito significativo ($P \leq 0,01$)

* Efeito significativo ($P \leq 0,05$)

^{NS} Não significativo

DISCUSSÃO

O objetivo deste estudo foi avaliar a biodisponibilidade da L-treonina-biomassa 80% em relação a L-treonina 98,5% para frangos de corte, nos períodos de 1 - 21 dias e de 22 - 42 dias de idade.

No ensaio de comparação direta, quando se comparou as fontes as fontes de L-treonina avaliadas, ambas suplementadas conforme as recomendações de Rostagno *et al.*, (2017), não se observou efeito nas variáveis de desempenho, composição corporal e rendimento de carcaça. Os resultados indicam que a suplementação de ambas as fontes atende as exigências de frangos de corte. Esses achados corroboram com os de Wensley *et al.* (2020) os quais não observaram efeito no desempenho de frangos de corte alimentados com dietas suplementadas com L-treonina 98,5% e com L-treonina-biomassa.

Entretanto, ao adotar a análise de variância, não é possível respaldar inferências baseadas na taxa de resposta unitária, apesar de ser um método válido para a interpretação das respostas de desempenho. Portanto, o método de análise pela razão de inclinação, complementou o método aplicado no experimento de comparação direta, constituindo-se no primeiro estudo a determinar a bioequivalência da L-treonina-biomassa 80%.

De acordo com Huyghebaert (1993), a biodisponibilidade relativa entre duas fontes do mesmo nutrientes apenas deve ser considerada quando a dieta basal for claramente deficiente no nutriente testado. Nesta pesquisa, a dieta basal foi formulada para atender 70% da exigência de Thr, tanto para a fase de 1 - 21, quanto para a fase de 22 - 42 dias de idade. Este modelo está alinhado com a abordagem de Baker (1986) e Littell *et al.* (2006) que, destacam a importância de considerar a redução da ingestão do nutriente testado ao avaliar a biodisponibilidade pela razão da inclinação.

Os efeitos da limitação causado pela dieta basal são claramente observados em todas as variáveis nesta pesquisa, em ambas as fases avaliadas. O consumo de ração foi reduzido em aproximadamente 7% e 5% nas fases de 1 – 21 e de 22 – 42 dias de idade, respectivamente, independente das fontes testadas. Essa redução do consumo em dietas com limitação Thr corrobora com os achados de Çiftci e Ceylan (2004) e Zaefarian *et al.* (2008) que, também observaram respostas semelhantes. Entretanto, discordam dos achados de

Webel *et al.* (1996) e Najafi *et al.* (2017) que não observaram influência da limitação de Thr no consumo de ração.

A limitação de Thr aliada com a redução do consumo de ração implicou na redução da eficiência alimentar e, consequentemente no ganho de peso diário. Pesquisas anteriores apresentaram respostas semelhantes para as variáveis de ganho de peso e conversão alimentar com redução do nível de Thr nas dietas de frangos de corte (KIDD e KERR, 1997; DOZIER *et al.*, 2000; SIGOLO *et al.*, 2017; MIN *et al.*, 2017). É provável que esta resposta esteja associada à redução da síntese proteica. Wang *et al.* (2006) evidenciaram que a limitação ou o excesso de treonina provocou redução na síntese proteica em suínos de 10 a 20 kg.

Os tratamentos influenciaram a deposição corporal de frangos de corte em ambas as fases de produção, independente da fonte avaliada. Em pesquisas anteriores também foi observado efeito da suplementação de Thr na composição corporal de frangos de corte (RANGEL-LUGO *et al.*, 1994; KIDD *et al.*, 2000). Os melhores resultados obtidos a partir da suplementação de L-Thr, independente das fontes, está relacionado com o efeito deste aminoácido na síntese proteica e absorção de nutrientes. A Thr melhora as características do trato gastrointestinal, aumenta a altura e largura das vilosidades e a relação vilo:crípta (REZAEIPOUR *et al.*, 2012; WILS-PLOTZ *et al.*, 2013; MIN *et al.*, 2017) melhorando a absorção de nutrientes e o desempenho animal. Possivelmente, estas razões também influenciaram o rendimento de carcaça, bem como a gordura abdominal e peso do baço.

O baixo nível de Thr nas dietas causou desequilíbrio aminoacídico reduzindo o desempenho, deposição corporal e rendimento de carcaça de frangos de corte nas fases de 1 – 21 e de 22 – 42 dias de idade. A suplementação de L-treonina, independente da fonte avaliada, reestabeleceu a resposta produtiva dos frangos de corte. Entretanto, esta pesquisa não teve por objetivo determinar a exigência de treonina para frangos de corte e sim a biodisponibilidade relativa entre as fontes avaliadas.

Quando a dieta basal foi suplementada com L-Thr de biomassa 80% ou a L-Thr 98,5, independente das doses, observou-se melhores resultados para os parâmetros analisados em ambas as fases de produção. Esses achados evidenciam que, a RBV entre as fontes testadas, foi avaliada na faixa sensível.

Por ser um aminoácido indispensável para frangos de corte e, ser o terceiro aminoácido limitante em dietas formuladas a base de milho e farelo de soja (WARNICK; ANDERSON, 1968), é de suma importância que fontes alternativas as utilizadas sejam testadas e fim de garantir o desempenho do animal.

Um pronto a ser considerado é a extensão do efeito da biomassa (20%) presente na L-treonina-biomassa 80%. Quando suplementada na faixa de exigência, não apresentou efeito tóxico, porém, recomenda-se conduzir pesquisas a fim de determinar a exigência de treonina para frangos de corte considerando a fonte L-treonina-biomassa 80%.

Neste estudo, considerando as fases de 1 – 21 e de 22 – 42 dias de idade, a RBV entre as fontes de L-treonina-biomassa 80% e L-treonina 98,5%, foi calculada em 102% e 98% para as variáveis de desempenho, respectivamente. Para as variáveis de composição corporal, a RBV foi de 100% e 96%, respectivamente. Já para as variáveis de rendimento de carcaça, a RBV foi de 99%. Dessa forma, é possível concluir que, a L-treonina-biomassa 80% e a L-treonina 98,5% demonstraram eficácia bioequivalente no desempenho de frangos de corte.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. N.; SULABO, R. C.; STEIN, H. H. Amino acid digestibility and concentration of digestible and metabolizable energy in a threonine biomass product fed to weanling pigs. **Journal of Animal Science**, v. 92, n. 10, p. 4540–4546, 2014.
- BAKER, D. H. Problems and Pitfalls in Animal Experiments Designed to Establish Dietary Requirements for Essential Nutrients. **J. Nutr**, v. 116, p. 2339 – 2349, 1986.
- CHEN, N. *et al.* Optimization of fermentation conditions for the biosynthesis of L-threonine by *Escherichia coli*. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 158, n. 3, p. 595–604, 2009.
- CHEN, Y. P. *et al.* Effects of threonine supplementation on the growth performance, immunity, oxidative status, intestinal integrity, and barrier function of broilers at the early age. **Poultry Science**, v. 96, n. 2, p. 405–413, 2017.
- ÇİFTÇİ, I.; CEYLAN, N. Effects of dietary threonine and crude protein on growth performance, carcass and meat composition of broiler chickens. **British Poultry Science**, v. 45, n. 2, p. 280–289, 2004.
- CORZO, A. *et al.* Dietary threonine needs for growth and immunity of broilers raised under different litter conditions. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 16, n. 4, p. 574–582, 2007.
- DOZIER, W. A.; MORAN, E. T.; KIDD, M. T. Threonine requirement for broiler males from 42 to 56 days of age. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 9, n. 2, p. 214–222, 2000.
- EDWARDS III, H. M. *et al.* Maintenance threonine requirement and efficiency of its use for accretion of whole-body threonine and protein in young chicks. **British Journal of Nutrition**, v. 78, n. 1, p. 111–119, 1997.
- GONÇALVES, C. A. *et al.* Dual energy X-ray absorptiometry is a valid tool for assessing in vivo body composition of broilers. **Animal Production Science**, v. 59, n. 5, p. 993–1000, 2019.
- HERMANN, T. Industrial production of amino acids by coryneform bacteria. **Journal of Biotechnology**, v. 104, n. 3, p. 155–172, 2003.
- HUYGHEBAERT, G. Comparison of DL-Methionine and Methionine Hydroxy Analogue-Free Acid Broilers by using Multi-Exponential Regression Models. **British Poultry Science**, v. 34, n. 2, p. 351–359, 1993.
- KIDD, M. T.; KERR, B. J. L-Threonine for poultry: A review. [S. l.], **Poultry Science**, v. 5, p. 358 – 367, 1996.
- KIDD, M. T.; KERR, B. J. Threonine responses in commercial broilers at 30 to 42 days. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 6, n. 4, p. 362–367, 1997.

KIDD, M. T. *et al.* **Threonine Needs of Finishing Broilers: Growth, Carcass, and Economic Responses**. *Applied Poultry Science*, v. 8. p. 160–169, 1999.

KRATZER, D. D.; LITTELL, R. C. Appropriate statistical methods to compare dose responses of methionine sources. **Poultry Science**, v. 85, n. 5, p. 947–954, 2006.

LEE, D. T. *et al.* Evaluation of a threonine fermentation product as a digestible threonine source in broilers. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 31, n. 3, 2022.

LEUCHTENBERGER, W.; HUTHMACHER, K.; DRAUZ, K. Biotechnological production of amino acids and derivatives: Current status and prospects. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 69, n. 1, p. 1–8, 2005.

LITTELL, R. C. *et al.* Estimation of Relative Bioavailability of Nutrients Using SAS Procedures. **Journal of Animal Science**, v. 75, n. 10, p. 2672–2683, 1997.

MIN, Y. N. *et al.* Effects of dietary threonine levels on growth performance, serum biochemical indexes, antioxidant capacities, and gut morphology in broiler chickens. **Poultry Science**, v. 96, n. 5, p. 1290–1297, 2017.

NAJAFI, R.; AHMAR, R.; TAZEHKAND, G. N. Effect of different dietary threonine levels on optimal growth performance and intestinal morphology in 1-14 days old ross 308 broilers. **Revista Brasileira de Ciencia Avicola / Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 19, n. Special Issue, p. 59–66, 2017.

NEME, R. *et al.* Determinação da Biodisponibilidade da Lisina Sulfato e Lisina HCl com Frangos de Corte. **R. Bras. Zootec.** V. 30, n. 6, p. 1750 – 1759, 2001.

NONIS, M. K.; GOUS, R. M. Threonine and lysine requirements for maintenance in chickens. **South African Journal of Animal Science**, v. 38, n. 2, p. 75-82, 2008.

RAMA RAO, S. V. *et al.* Performance, carcass variables and immune responses in commercial broiler chicks fed graded concentrations of threonine in diet containing sub-optimal levels of protein. **Animal Feed Science and Technology**, v. 169, n. 3–4, p. 218–223, 2011.

RANGEL-LUGO, M.; SU, C. L.; AUSTIC, R. E. Threonine requirement and threonine imbalance in broiler chickens. **Poultry science**, v. 73, n. 5, p. 670–681, 1994.

REZAEIPOUR, V.; FONONI, H.; IRANI, M. Effects of dietary L-threonine and *Saccharomyces cerevisiae* on performance, intestinal morphology and immune response of broiler chickens. **South African Journal of Animal Science**, v. 42, n. 3, 2012.

ROBBINS, K. R. Threonine Requirement of the Broiler Chick as Affected by Protein Level and Source. **Poultry Science**, [S. l.], v. 66, p. 1531 – 1534, 1986.

ROSTAGNO, H. *et al.* **Tabelas Brasileiras Para Aves e Suínos**. 4ª ed. [s.l.]: 2017.

SIGOLO, S. *et al.* Effect of a low crude protein diet supplemented with different levels of threonine on growth performance, carcass traits, blood parameters, and immune responses of growing broilers. **Poultry Science**, v. 96, n. 8, p. 2751–2760, 2017.

WANG, X. *et al.* Effects of graded levels of true ileal digestible threonine on performance, serum parameters and immune function of 10-25 kg pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 129, n. 4, p. 264–278, 2006.

WANG, Z. R. *et al.* Bioefficacy of L-lysine·H₂SO₄ relative to L-lysine·HCl in broiler chickens, estimated by slope-ratio model. **British Poultry Science**, v. 48, n. 3, p. 381–388, 2007.

WARNICK, R. E.; ANDERSON, J. O. Limiting essential amino acids in soybean meal for growing chickens and the effects of heat upon availability of the essential amino acids. **Poultry science**, v. 47, n. 1, p. 281–287, 1968.

WEBEL, D. M. *et al.* Digestible Threonine Requirement of Broiler Chickens during the Period Three to Six and Six to Eight Weeks Posthatching. **Poultry Science**, v. 75, n. 10, p. 1253–1257, 1996.

WENSLEY, M. R. *et al.* Effects of amino acid biomass or feed-grade amino acids on growth performance of growing swine and poultry. **Translational Animal Science**, v. 4, n. 1, p. 49–58, 2020.

WILS-PLOTZ, E. L.; JENKINS, M. C.; DILGER, R. N. Modulation of the intestinal environment, innate immune response, and barrier function by dietary threonine and purified fiber during a coccidiosis challenge in broiler chicks. **Poultry Science**, v. 92, n. 3, p. 735–745, 2013.

ZAEFARIAN, F.; ZAGHARI, M.; SHIVAZAD, M. The Threonine Requirements and its Effects on Growth Performance and Gut Morphology of Broiler Chicken Fed Different Levels of Protein. **International Journal of Poultry Science**, v. 7, n. 12, p. 1207–1215, 2008a.

ZAEFARIAN, F.; ZAGHARI, M.; SHIVAZAD, M. The Threonine Requirements and its Effects on Growth Performance and Gut Morphology of Broiler Chicken Fed Different Levels of Protein. **International Journal of Poultry Science**, v. 7, n. 12, p. 1207–1215, 2008b.

CAPÍTULO IV - RESPOSTA DIETÉTICA DA TREONINA SOBRE O DESEMPENHO, RENDIMENTO DE CARCAÇA E COMPOSIÇÃO CORPORAL DE FRANGOS DE CORTE

RESUMO

Objetivou-se com esta pesquisa determinar a exigência de L-treonina-biomassa 80% para frangos de corte. Foram realizados dois ensaios compreendendo as fases de 1 a 21 e de 22 a 42 dias de idade. Na primeira fase, foram considerados seis tratamentos (5,96; 6,81; 7,66; 8,52; 9,37 e 10,22 g/kg) de Thr nas dietas. O primeiro tratamento consistiu em uma dieta basal (DB) (5,96 g/kg) formulada sem a suplementação da Thr. Os demais níveis foram alcançados a partir da suplementação com L-treonina-biomassa 80%. Na segunda fase foram considerados os níveis de 5,11; 6,08; 6,84; 7,59; 8,35 e 9,11 g/kg de Thr nas dietas. O método de obtenção dos níveis foi o mesmo seguido na primeira fase. Semanalmente, foram avaliados o consumo de ração, ganho de peso e foram calculados os valores de ingestão, deposição e exigência de manutenção de Thr. No final de cada fase, uma ave de cada parcela foi utilizada para determinar a composição corporal. Aos 42 dias de idade, quatro aves de cada parcela foram selecionadas com base no peso corporal médio para determinar o rendimento de carcaça. Os dados foram analisados quanto aos pressupostos de homocedasticidade de variância e normalidade dos erros. A DB reduziu significativamente o desempenho dos animais em ambas as fases de produção. A análise de contraste entre os tratamentos com suplementação de L-treonina-biomassa 80% e a DB demonstrou que a limitação do AA estudado foi alcançada. A exigência de Thr para frangos de corte nas fases de 1 a 21 e 22 a 42 dias de idade foram 0,768% e 0,704, respectivamente.

Palavras – chave: Composição corporal, exigência, L-treonina biomassa

INTRODUÇÃO

A treonina (Thr) é um aminoácido (AA) indispensável para os animais e, é conhecido como o terceiro aminoácido limitante para frangos de corte alimentados com dietas à base de milho e farelo de soja. O α -amino- β -hidroxibutírico (Thr) foi isolado pela primeira vez em 1935. Rose *et al.* (1935) evidenciaram que animais que consumiram dietas contendo α -amino- β -hidroxibutírico apresentaram maior desempenho do que aqueles que receberam dietas sem suplementação. Os primeiros estudos publicados a respeito do efeito da Thr no desempenho de frangos de corte datam do ano de 1944 (ALMQUIST; GRAU, 1944; HEGSTED, 1944). Desde então, pesquisas vêm sendo desenvolvidas para determinar a exigência de Thr para frangos de corte (ROBBINS, 1986; DOZIER *et al.*, 2000; KIDD *et al.*, 1997; PENZ *et al.*, 1997).

A Thr tem efeito na síntese de proteínas (WANG *et al.*, 2006), melhora as características do trato gastrointestinal (AL-SAGAN *et al.*, 2018) e a função imune de frangos de corte (RAMA RAO *et al.*, 2011). As recomendações atuais de Thr nas dietas de frangos de corte são de 0,852% e 0,759%, para as fases de 1 a 21 e de 22 a 42 dias de idade equivalentes a relação ideal Thr:Lys digestível de 66% (ROSTAGNO *et al.*, 2024).

A maioria dos AA suplementados nas dietas para animais são produzidos por meio da fermentação com microrganismos. Após o processo de fermentação, a biomassa é separada dando origem ao aminoácido purificado (LEUCHTENBERGER *et al.*, 2005). Entretanto, a biomassa residual contém AA essenciais e não essenciais, além de vitaminas e minerais que podem ser aproveitados pelos animais (ALMEIDA *et al.*, 2014), além de reduzir os custos de fabricação associados a purificação do AA. Recentemente, a L-treonina-biomassa 80% foi desenvolvida para o uso nas dietas de animais.

Em um estudo anterior Dozier *et al.* (2003) avaliando um subproduto de fermentação de treonina, determinaram a biodisponibilidade relativa média de 99,9% para o desempenho de frangos de corte quando comparado com a L-treonina 98,5%. Mais recente, Wensley *et al.* (2020) evidenciaram que a suplementação de L-treonina biomassa (com mínimo 75% de Thr digestível) em substituição à L-treonina 98,5% não alterou o desempenho de frangos de corte até os 28 dias de idade.

Entretanto, ao desenvolver um novo aditivo nutricional para a alimentação animal, é necessário conhecer o efeito desse no desempenho dos animais. Desta forma, objetivou-se com esta pesquisa, avaliar a exigência de L-treonina-biomassa 80% para frangos de corte nas fases de 1 a 21 e de 22 a 42 dias de idade.

MATERIAL E MÉTODOS

Procedimentos gerais

Todos os procedimentos adotados na condução desta pesquisa foram aprovados pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP, Campus Jaboticabal, São Paulo, Brasil, sob protocolo número 0033760/23.

Foram conduzidos dois experimentos para determinar a exigência de L-treonina biomassa 80%, o primeiro considerando a fase de 1 – 21 e o segundo, a fase de 22 – 42 dias de idade. Os ensaios foram conduzidos em galpão com sistema de controle de temperatura e umidade. Cada unidade experimental foi equipada com bebedouros tipo *nipple* e, comedouro tubular.

Exigência de L-treonina na fase de 1 – 21 dias de idade

Para o ensaio de exigência de L-treonina biomassa 80% na fase de 1 – 21 dias de idade foram utilizados 1.800 pintinhos de corte da linhagem Cobb, com peso médio inicial de $40,44\text{g} \pm 0,16\text{g}$. Foram estabelecidos seis tratamentos correspondendo aos níveis de 5,96, 6,81, 7,66, 8,52, 9,37 e 10,22 g/kg de treonina digestível na ração. Os tratamentos foram distribuídos em delineamento inteiramente ao acaso com 10 repetições de 30 aves cada.

A dieta basal, representada pelo nível de 5,96 g/kg, foi formulada sem a adição da L-treonina biomassa 80%, e, os demais níveis, foram obtidos por meio da suplementação com L-treonina biomassa 80%. O coeficiente de digestibilidade da treonina foi considerado como 100%. As dietas foram formuladas seguindo as recomendações nutricionais de Rostagno *et al.* (2017) (Tabela 1).

Tabela 1. Composição nutricional das dietas experimentais de 1 a 21 dias de idade

Ingredientes g/kg	Níveis de Thr na dieta. g/kg					
	5,96	6,81	7,66	8,52	9,37	10,22
Milho	582.109	582.109	582.109	582.109	582.109	582.109
Farelo de soja 46	239.080	239.080	239.080	239.080	239.080	239.080
Óleo de soja	23.455	23.455	23.455	23.455	23.455	23.455
MBM 42	56.688	56.688	56.688	56.688	56.688	56.688
Amendoim 45	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000
L – Glu monossódico	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Calcário	2.612	2.612	2.612	2.612	2.612	2.612
NaCl	1.351	1.351	1.351	1.351	1.351	1.351
L-Metionina 100	4.672	4.672	4.672	4.672	4.672	4.672
L-Lisina HCl 79	5.490	5.490	5.490	5.490	5.490	5.490
L-Treonina-biomassa 80	0.000	1.057	2.120	3.200	4.260	5.320
L-Triptofano 98	0.399	0.399	0.399	0.399	0.399	0.399
L-Valina 96.5	2.022	2.022	2.022	2.022	2.022	2.022
L-Isoleucina 90	1.825	1.825	1.825	1.825	1.825	1.825
L-Arginina 98,5	1.997	1.997	1.997	1.997	1.997	1.997
Cloreto de colina 60	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
Caulim	6.000	4.943	3.880	2.800	1.740	0.680
Premix vitamínico ¹	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
Premix mineral ²	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
Total	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
Valores calculados						
Matéria seca, %	88,81	88,81	88,80	88,80	88,79	88,79
Fibra bruta, %	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Extrato etéreo, %	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81
Amido, %	37,72	37,72	37,72	37,72	37,72	37,72
Proteína bruta, %	22,86	22,93	23,00	23,08	23,15	23,23
Energia metabolizável						
Kcal/kg	3.100	3.103	3.107	3.110	3.114	3.117
Lisina, %	1,290	1,290	1,290	1,290	1,290	1,290
Metionina, %	0,715	0,715	0,715	0,715	0,715	0,715
Metionina+Cisteína, %	0,955	0,955	0,955	0,955	0,955	0,955
Treonina, %	0,596	0,681	0,766	0,852	0,937	1,022
Triptofano, %	0,232	0,232	0,232	0,232	0,232	0,232
Arginina, %	1,484	1,484	1,484	1,484	1,484	1,484
Valina, %	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994
Isoleucina, %	0,865	0,865	0,865	0,865	0,865	0,865
Leucina, %	1,460	1,460	1,460	1,460	1,460	1,460
Histidina, %	0,459	0,459	0,459	0,459	0,459	0,459
Fenilalanina, %	0,855	0,855	0,855	0,855	0,855	0,855
Potássio, %	0,730	0,730	0,730	0,730	0,730	0,730
Sódio, %	0,222	0,222	0,222	0,222	0,222	0,222
Cálcio total, %	0,915	0,915	0,915	0,915	0,915	0,915
Fósforo, %	0,430	0,430	0,430	0,430	0,430	0,430
Ácido Linoleico, %	2,557	2,557	2,557	2,557	2,557	2,557
Colina, UI	1374	1374	1374	1374	1374	1374

¹Premix vitamínico: Vitamina A = 12,000,000 IU, Vitamina D3 = 4,000,000 IU, Vitamina E = 55,000 IU, Vitamina K3 = 3,000mg, Vitamina B1 = 2,300mg, Vitamina B2 = 7,000mg, Ácido pantotênico = 12g, Vitamina B6 = 4,000mg, Vitamina B12 = 25,000mcg, Ácido nicotínico = 60g, Ácido fólico = 2,000mg, Biotina = 250mg, Selênio = 300mg. ²Premix mineral: Ferro = 100g, Cobre = 20g, Manganês = 130g, Zinco = 130g, Iodo = 2,0mg.

Aos 7, 14 e 21 dias de idade foram contabilizados a sobra de ração e o peso da parcela experimental para determinar o consumo de ração (CR), ganho de peso médio (GP), conversão alimentar (CA) e a eficiência alimentar. A CA foi determinada a partir da divisão entre o CR e o GP e a eficiência de alimentar a partir da divisão entre o GP pelo CA. Além das variáveis de desempenho, foram calculadas a ingestão, deposição e exigência de manutenção de treonina de acordo com as seguintes equações:

$$\text{Ingestão de Thr (g/frango)} = (\lambda \times \alpha \div 100) \times 1000$$

Onde: λ é o consumo diário de ração e α é o nível de treonina na dieta.

$$\text{Deposição de Thr (g/frango)} = ((4,25 \div 100) \times ((14 \div 100) \times \beta)) \times 1000$$

Onde: 4,25 é a porcentagem de treonina na proteína bruta corporal (ÇIFTÇI; CEYLAN, 2004), 14 é a concentração de proteína bruta corporal e β é o ganho de peso diário.

$$\text{Exigência de manutenção de Thr (g/frango)} = 45,7 \times (((BW_F + BW_I) \div 2) \div 1000)^{0,75}$$

Onde: 45,7 é a exigência de manutenção de treonina obtida pela média de dos valores apresentados por Edwards *et al.* (1997); Nonis & Gous, (2008), BW_F é o peso do animal no final da semana de avaliação, BW_I é o peso do animal no início do ensaio.

No 21º dia, uma ave com peso corporal médio de cada parcela, foi selecionada para a análise da composição corporal. Após um jejum sólido de 8 horas para esvaziamento do trato digestivo, as aves foram pesadas e eutanasiadas por meio de deslocamento cervical. A composição corporal foi determinada utilizando o equipamento DEXA (absorciometria de raios X de dupla energia). Foram determinados as variáveis de Massa Total (MT), área, conteúdo mineral ósseo (CMO), densidade mineral óssea (DMO), massa gorda (MG) e massa magra. Os resultados de proteínas, lipídios, água e cinzas em "g/kg" foram calculados com base nas equações propostas por Gonçalves *et al.* (2019).

Os dados foram analisados quanto aos pressupostos de homocedasticidade de variância e normalidade dos erros. As variáveis foram

submetidas à análise de contraste polinomial ortogonal para efeitos lineares e quadráticos dos níveis de treonina. Quando foi detectado efeito ($p \leq 0,05$), a análise de regressão foi aplicada utilizando os modelos Broken-line platô linear (BL) e platô com ascendência quadrática (BLq) com auxílio do pacote computacional SAS NLIN e NLMixed, respectivamente, seguindo as recomendações propostas por Robbins *et al.* (2006). O valor da abcissa, correspondente à estimativa do ponto de junção da curva quadrática do modelo de platô linear, também foi calculado para determinar a ingestão ideal de treonina.

Os modelos ajustados foram:

BL:

$$y = \psi + \beta \times (\lambda - x) \quad (\text{Eq 1})$$

Onde $(\lambda - x)$ é definido como zero quando $x > \lambda$, ψ é a resposta máxima obtida em função do nível de L-treonina na dieta, λ é o ponto que indica a mudança na trajetória da reta e β corresponde à inclinação.

BLq:

$$y = \psi + \beta \times (\lambda - x)^2 \quad (\text{Eq 2}).$$

Onde $(\lambda - x)$ é definido como zero quando $x > \lambda$, ψ é a resposta máxima obtida em função do nível de L-treonina na dieta, e λ é o ponto que indica a mudança na trajetória da reta, e β , corresponde à inclinação.

Estimativa do ponto de interseção:

$$y = \alpha \times \beta \div \mathcal{E} \quad (\text{Eq 3}).$$

Onde α é a estimativa do parâmetro, β é o nível de L-treonina e $\mathcal{E}$ é a inclinação.

Exigência de L-treonina na fase de 22 – 42 dias de idade

Para o ensaio de exigência de L-treonina na fase de 22 – 42 dias de idade foram utilizados 1.200 frangos de corte da linhagem Cobb, com peso médio

inicial de 1165,0g $\pm$ 7,78g. Foram considerados seis tratamentos, correspondendo aos níveis de 5,11; 6,08; 6,84; 7,59; 8,35 e 9,11 g/kg de ração. Os tratamentos foram distribuídos em delineamento inteiramente ao acaso com 10 repetições de 20 aves cada.

A dieta basal, correspondendo ao nível de 5,11 g/kg, foi formulada sem a suplementação de treonina. Os demais níveis foram alcançados mediante a suplementação com L-treonina-biomassa 80%. O coeficiente de digestibilidade do aminoácido avaliado foi considerado como 100%. As dietas experimentais foram formuladas de acordo com as recomendações nutricionais de Rostagno *et al.* (2017), e são apresentadas na tabela 2.

As aves das parcelas experimentais, bem como, as sobras de ração foram pesadas aos 28, 35 e 42 dias de idade. E foram determinados o consumo diário de ração, ganho de peso médio diário, conversão alimentar e a eficiência de utilização. O cálculo da conversão alimentar foi feito dividindo o consumo de ração pelo ganho de peso, enquanto a eficiência de utilização foi obtida dividindo o ganho de peso pelo consumo de ração. As variáveis de consumo, deposição e exigência de manutenção de treonina foram calculadas utilizando as mesmas equações empregadas no experimento da fase de 1 – 21 dias de idade.

No 42º dia, uma ave com peso corporal médio, representativo de cada parcela, foi selecionada para a análise da composição corporal. Após um jejum sólido de 8 horas para esvaziamento do trato digestivo, as aves foram pesadas e eutanasiadas por meio de deslocamento cervical. A composição corporal foi determinada utilizando a tecnologia DEXA (absorciometria de raios X de dupla energia). Foram determinadas as variáveis Massa Total (MT), área, conteúdo mineral ósseo (CMO), densidade mineral óssea (DMO), massa gorda (MG) e massa magra. Os resultados de proteínas, lipídios, água e cinzas, em g/kg, foram calculados com base nas equações propostas por Gonçalves *et al.* (2019).

Tabela 2. Composição nutricional das dietas experimentais dos 22 aos 42 dias de idade

Ingredientes g/kg	Níveis de Thr na dieta. g/kg					
	5,11	6,08	6,84	7,59	8,35	9,11
Milho	648.851	648.851	648.851	648.851	648.851	648.851
Farelo de soja 46	176.947	176.947	176.947	176.947	176.947	176.947
Óleo de soja	29.000	29.000	29.000	29.000	29.000	29.000
MBM 42	40.718	40.718	40.718	40.718	40.718	40.718
Amendoim 45	61.375	61.375	61.375	61.375	61.375	61.375
L – Glu monossódico	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Calcário	2.663	2.663	2.663	2.663	2.663	2.663
NaCl	1.161	1.161	1.161	1.161	1.161	1.161
L-Metionina 100	5.167	5.167	5.167	5.167	5.167	5.167
L-Lisina HCl 79	5.767	5.767	5.767	5.767	5.767	5.767
L-Treonina-biomassa 80	0.000	1.201	2.151	3.100	4.049	4.999
L-Triptofano 98	0.468	0.468	0.468	0.468	0.468	0.468
L-Valina 96.5	2.021	2.021	2.021	2.021	2.021	2.021
L-Isoleucina 90	1.960	1.960	1.960	1.960	1.960	1.960
L-Arginina 98,5	2.332	2.332	2.332	2.332	2.332	2.332
Cloreto de colina 60	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
Caulim	9.471	8.269	7.320	6.371	5.421	4.472
Premix vitamínico ¹	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Premix mineral ²	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
Total	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
Valores calculados						
Matéria seca, %	88,80	88,79	88,79	88,79	88,78	88,78
Fibra bruta, %	2,79	2,79	2,79	2,79	2,79	2,79
Extrato etéreo, %	5,38	5,38	5,38	5,38	5,38	5,38
Amido, %	41,94	41,94	41,94	41,94	41,94	41,94
Proteína bruta, %	20,00	20,08	20,15	20,21	20,28	20,35
Energia metabolizável, Kcal/kg	3.200	3.204	3.207	3.210	3.213	3.216
Lisina, %	1,151	1,151	1,151	1,151	1,151	1,151
Metionina, %	0,735	0,735	0,735	0,735	0,735	0,735
Metionina+Cisteína, %	0,852	0,852	0,852	0,852	0,852	0,852
Treonina, %	0,511	0,608	0,684	0,759	0,835	0,911
Triptofano, %	0,207	0,207	0,207	0,207	0,207	0,207
Arginina, %	1,323	1,323	1,323	1,323	1,323	1,323
Valina, %	0,886	0,886	0,886	0,886	0,886	0,886
Isoleucina, %	0,771	0,771	0,771	0,771	0,771	0,771
Leucina, %	1,312	1,312	1,312	1,312	1,312	1,312
Histidina, %	0,403	0,403	0,403	0,403	0,403	0,403
Fenilalanina, %	0,739	0,739	0,739	0,739	0,739	0,739
Potássio, %	0,631	0,631	0,631	0,631	0,631	0,631
Sódio, %	0,205	0,205	0,205	0,205	0,205	0,205
Cálcio total, %	0,697	0,697	0,697	0,697	0,697	0,697
Fósforo, %	0,327	0,327	0,327	0,327	0,327	0,327
Ácido Linoleico, %	2.919	2.919	2.919	2.919	2.919	2.919
Colina, UI	1224	1224	1224	1224	1224	1224

¹Premix vitamínico: Vitamina A = 12,000,000 IU, Vitamina D3 = 4,000,000 IU, Vitamina E = 55,000 IU, Vitamina K3 = 3,000mg, Vitamina B1 = 2,300mg, Vitamina B2 = 7,000mg, Ácido pantotênico = 12g, Vitamina B6 = 4,000mg, Vitamina B12 = 25,000mcg, Ácido nicotínico = 60g, Ácido fólico = 2,000mg, Biotina = 250mg, Selênio = 300mg. ²Premix mineral: Ferro = 100g, Cobre = 20g, Manganês = 130g, Zinco = 130g, Iodo = 2,0mg.

As aves de cada unidade experimental e as sobras de ração foram pesadas aos 28, 35 e 42 dias de idade para calcular o CR e GP, CA e a eficiência alimentar. Os cálculos da conversão alimentar e eficiência alimentar foram realizados conforme descrito no item anterior. As variáveis de ingestão, deposição e exigência de manutenção de treonina foram calculadas utilizando as mesmas equações utilizadas no experimento de 1 – 21 dias de idade.

Aos 42º dias de idade, quatro aves de cada parcela, foram selecionadas com base no peso médio da parcela para a determinação do rendimento de carcaça. As aves foram submetidas a um jejum sólido de 8 horas, em seguida foram pesadas, eutanasiadas para determinar o peso da carcaça, peso do peito, peso da coxa e sobrecoxa, peso das asas e o peso da gordura abdominal. Em seguida, uma ave com peso corporal médio da unidade experimental também foi selecionada para a análise da composição corporal.

Os dados foram analisados quanto aos pressupostos de homocedasticidade de variância e normalidade dos erros. As variáveis foram submetidas à análise de contraste polinomial ortogonal para efeitos lineares e quadráticos dos níveis de treonina. Quando foi detectado efeito ($p \leq 0,05$), a análise de regressão foi aplicada utilizando os modelos BL, BLq com auxílio do pacote computacional SAS NLIN e NLMixed, respectivamente, seguindo as recomendações propostas por Robbins *et al.* (2006). O valor da abcissa correspondente à estimativa do ponto de junção da curva quadrática do modelo platô linear também foi calculado para determinar a ingestão ideal de treonina.

RESULTADOS

Experimento I

Na Tabela 3 estão apresentadas as médias de CR, GP, CA e eficiência de utilização de 1 a 21 dias de idade. Observou-se efeito significativo ($p < 0.001$) para todas as variáveis analisadas. Com base nas análises de contrastes, a DB diferiu dos demais níveis. Houve efeito linear e quadrático para todas as variáveis analisadas. A redução observada no CR para a DB foi de 5% Ex.: ($5\% = [1 - 22,6 \div 23,8] \times 100$) em todas as semanas de avaliação se comparados aos tratamentos de 5,96 e 10,22g de Thr/kg de ração. Enquanto o GP reduziu em

aproximadamente 13% ex.: $(13\% = [1 - 19,7 \div 22,6] \times 100)$ em todas as semanas avaliadas, se comparado o menor e o maior nível de Thr na dieta.

Foi observado aumento de 8% na CA quando os animais receberam a DB na primeira e última semana e, houve aumento de 6% na segunda semana. O inverso foi observado para eficiência de utilização, a DB dieta basal reduziu a eficiência alimentar em 8%, 6% e 8% nas semanas 1, 2 e 3, respectivamente.

Na tabela 4 estão apresentadas as médias de consumo diário de treonina, deposição de treonina e exigência diária de treonina para manutenção. Os níveis dietéticos de Thr influenciaram em todas as variáveis analisadas ($p < 0.001$). A análise de contraste mostrou efeito significativo entre os tratamentos suplementados com L-treonina-biomassa 80% quando comparadas ao tratamento sem suplementação (DB). Além disso, observou-se efeito linear e quadrático dos níveis de treonina.

Tabela 3. Consumo diário de ração (g/ave dia), ganho diário de peso corporal (g/ave dia), conversão alimentar (g/g) e eficiência alimentar (g/kg) de frangos de corte, aos 7, 14 e 21 anos dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%

Variáveis	Níveis de Treonina na dieta. g/kg						Geral	SEM	p-valor				CV
	5,96	6,81	7,66	8,52	9,37	10,22			Anova	Controle vs Outros	Linear	Quadrática	
Consumo diário de ração, g/ave													
7 dias de idade	22,6	23,7	24,1	23,7	23,8	23,8	23,6	0,1	<0,001	<0,001	0,007	0,002	2,2
14 dias de idade	40,1	42,6	42,9	42,7	42,7	42,4	42,2	0,1	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,5
21 dias de idade	59,3	62,5	62,9	63,3	63,3	62,9	62,4	0,2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,1
Ganho de peso Diário, g/ave													
7 dias de idade	19,7	22,2	23,1	22,3	22,7	22,6	22,1	0,1	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,1
14 dias de idade	33,4	37,1	37,8	37,7	38,2	37,7	37,0	0,2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,8
21 dias de idade	44,6	48,7	51,3	51,9	51,8	51,3	49,9	0,4	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	4,2
Conversão alimentar, g/ave													
7 dias de idade	1,145	1,070	1,047	1,054	1,047	1,055	1,070	0,006	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,4
14 dias de idade	1,202	1,148	1,134	1,134	1,116	1,126	1,143	0,005	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,0
21 dias de idade	1,331	1,285	1,226	1,220	1,225	1,228	1,252	0,008	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,4
Eficiência alimentar, g/ave													
7 dias de idade	873,8	934,8	955,9	949,4	955,0	948,8	935,8	4,8	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,4
14 dias de idade	832,2	871,2	881,9	881,9	896,3	888,8	875,4	3,4	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,0
21 dias de idade	752,4	779,7	815,8	820,1	817,8	815,0	800,1	4,6	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,3

SEM: Erro padrão da média. ANOVA: Análise de variância. CV: Coeficiente de variação.

O menor nível de Thr na dieta reduziu em 45% a ingestão de treonina nas semanas 1, 2 e 3, se comparada ao maior nível. Enquanto que, para a deposição diária de treonina, a redução causada pela limitação de treonina foi de aproximadamente 13%. Para a variável de exigência de treonina para a manutenção, a redução foi de aproximadamente 6%, 8% e 10% nas semanas 1, 2 e 3, respectivamente.

Para interpretar os efeitos linear e quadrático das respostas das aves submetidas a diferentes níveis de treonina, foram ajustadas duas funções matemáticas: broken line e broken line com ascendência quadrática. As equações obtidas para as variáveis de CR, GP, CA, eficiência de utilização e deposição diária de treonina estão apresentadas na Tabela 5. Os valores estimados para λ na função broken line com ascendência quadrática foram maiores quando comparado ao broken line para todas as variáveis.

A concentração estimada e a ingestão de treonina correspondendo ao primeiro ponto de intersecção do platô linear e quadrático para as variáveis analisadas são apresentados na Tabela 6.

Tabela 4. Consumo diário de treonina (mg/frango), deposição diária de treonina (mg/frango) e manutenção diária de treonina (mg/frango) de frangos de corte, aos 7, 14 e 21 dias de idade, alimentados com dietas com L- treonina-biomassa 80%

Variáveis	Níveis de Treonina na dieta. g/kg						Geral	SEM	p-valor				CV	
	5,96	6,81	7,66	8,52	9,37	10,22			Anova	Controle vs Outros	Linear	Quadrática		
Consumo diário de Treonina, mg/ave														
7 dias de idade	134,7	161,9	185,3	202,0	223,3	243,2	190,9	4,7	<0,001	<0,001	<0,001	0,011	3,2	
14 dias de idade	239,2	290,6	328,8	364,6	400,3	433,9	342,9	8,5	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,6	
21 dias de idade	353,7	425,7	481,8	539,4	593,8	643,2	506,3	12,8	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,1	
Deposição diária de Treonina, mg/ave														
7 dias de idade	117,5	132,2	137,5	132,7	135,4	134,6	131,6	1,0	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,1	
14 dias de idade	198,7	221,2	225,3	224,5	227,8	224,4	220,3	1,5	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,9	
21 dias de idade	265,7	290,1	305,4	308,9	308,3	305,2	297,3	2,5	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	4,2	
Manutença diária de Treonina, mg/ave														
7 dias de idade	8,7	9,2	9,3	9,2	9,3	9,2	9,1	0,03	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	1,5	
14 dias de idade	17,3	18,5	18,7	18,7	18,9	18,7	18,5	0,08	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	1,8	
21 dias de idade	27,5	29,2	30,3	30,5	30,5	30,3	29,7	0,17	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,9	

SEM: Erro padrão da média. ANOVA: Análise de variância. CV: Coeficiente de variação.

Tabela 5. Parâmetros lineares e de platô quadrático em linha quebrada para consumo diário de treonina, ganho diário de peso corporal, conversão alimentar, eficiência alimentar e deposição diária de treonina de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade, alimentado com dietas com L-treonina- biomassa 80%

Requisito estimado						
Análise linear broken-line						
Resposta	Unidade	ψ	β	λ	P-valor	R ²
Consumo diário de ração	%	62,9±0,1	-38,0±5,7	0,681±0,01	<0,001	0,60
	mg/ave por dia	63,2±0,1	-0,036±0,009	449,0±21,0	<0,001	0,60
Ganho de peso Diário	%	51,2±0,2	-56,3±8,1	0,704±0,01	<0,001	0,69
	mg/ave por dia	51,2±0,2	-0,065±0,009	449,0±11,0	<0,001	0,71
Conversão alimentar	%	1,224±0,004	0,522±0,1	0,762±0,04	<0,001	0,53
	mg/ave por dia	1,231±0,006	0,00069±0,0001	451,0±18,7	<0,001	0,72
Eficiência de utilização	%	815,0±6,8	-378±108,0	0,736±0,03	<0,001	0,60
	mg/ave por dia	816,1±5,2	-0,397±0,05	490,0±0,6	<0,001	0,58
Deposição diária de Treonina	%	305,0±1,4	-341,5±50,0	0,705±0,01	<0,001	0,69
	mg/ave por dia	305,3±1,3	-0,394±0,04	444,0±8,7	<0,001	0,70
Análise broken-line quadratico						
Consumo diário de ração	%	63,3±0,2	-59,1±17,9	0,824±0,03	<0,001	0,82
	mg/ave por dia	63,3±0,3	-0,00008±0,00001	550,0±20,4	<0,001	0,60
Ganho de peso Diário	%	51,8±0,3	-62,0±10,7	0,884±0,2	<0,001	0,94
	mg/ave por dia	51,5±0,5	-,0001±,00004	578,8±39,4	<0,001	0,97
Conversão alimentar	%	1,224±0,004	1,187±0,3	0,860±0,03	<0,001	0,53
	mg/ave por dia	1,231±0,007	0,00000157±,00000001	541,9±0,6	<0,001	0,96
Eficiência de utilização	%	816,5±3,6	-770,6±197,6	0,846±0,03	<0,001	0,98
	mg/ave por dia	816,0±6,8	-0,0017±0,0006	533,7±32,7	<0,001	0,58
Deposição diária de Treonina	%	306,6±1,4	-552,6±151,0	0,846±0,03	<0,001	0,65
	mg/ave por dia	307,2±1,7	-0,0006±0,0001	542,0±21,7	<0,001	0,70

ψ – Intercepto. β – Inclinação. λ – Ponto de quebra

Tabela 6. Exigência de treonina de acordo com a linha quebrada platô linear (BL), linha quebrada com ascendência quadrática (BLq) e primeiro intercepto de BLq nos modelos de platô BL em mg/frango por dia e % para consumo diário de ração, diariamente ganho de peso corporal, conversão alimentar, eficiência alimentar e deposição diária de treonina de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%

Variáveis	Consumo de Treonina, mg/ave por dia			Concentração na dieta, %		
	Modelo Broken-line	Modelo Broken-line quadrático	Primeiro ponto de interseção	Modelo Broken-line	Modelo Broken-line quadrático	Primeiro ponto de interseção
Consumo diário de ração (g/ave por dia)	449,0	550,0	508,3	0,674	0,828	0,738
Ganho de peso Diário (g/ave por dia)	449,0	578,8	498,1	0,704	0,884	0,760
Conversão alimentar	451,0	541,0	508,7	0,762	0,860	0,810
Eficiência de utilização	490,0	533,7	502,2	0,736	0,846	0,814
Deposição diária de Treonina (g/ave por dia)	444,0	542,0	489,0	0,705	0,846	0,758

Por se tratar de variáveis avaliadas com maior frequência na produção de frangos de corte, o GP, CA e a deposição diária de treonina foram selecionadas para detalhar as interpretações do efeito da ingestão Thr (mg/ave por dia) em frangos de corte na fase de 1 a 21 dias de idade. As figuras 1, 2 e 3 mostram os modelos BL e BLq, bem como o ponto de intersecção entre os modelos para o GP, CA e deposição diária de treonina, respectivamente, em função dos níveis de Thr nas dietas.

Para a variável GP, os modelos ajustados foram $y = 51,2(\pm 0,2) - 0,065(\pm 0,009) \times [449,0(\pm 11,0) - x]$, $R^2 = 0,71$ para BL e $(y = 51,5(\pm 0,5) - 0,0001(\pm 0,00004) \times [578,8(\pm 39,4) - x]^2)$, $R^2 = 0,97$ para BLq. Para CA, os modelos ajustados foram $(y = 1,231(\pm 0,006) + 0,00069(\pm 0,0001) \times [451,0(\pm 18,7) - x])$, $R^2 = 0,72$ para BL e $(y = 1,231(\pm 0,007) + 0,00000157(\pm 0,00000001) \times [541,9(\pm 0,6) - x]^2)$, $R^2 = 0,96$ para BLq. E os modelos BL e BLq para a variável deposição diária de treonina foram $(y = 305,3(\pm 1,3) - 0,394(\pm 0,04) \times [444,0(\pm 8,7) - x])$, $R^2 = 0,70$ e $(y = 307,2(\pm 1,7) - 0,0006(\pm 0,0001) \times 542,0(\pm 21,7) - x]^2)$, $R^2 = 0,70$, respectivamente.

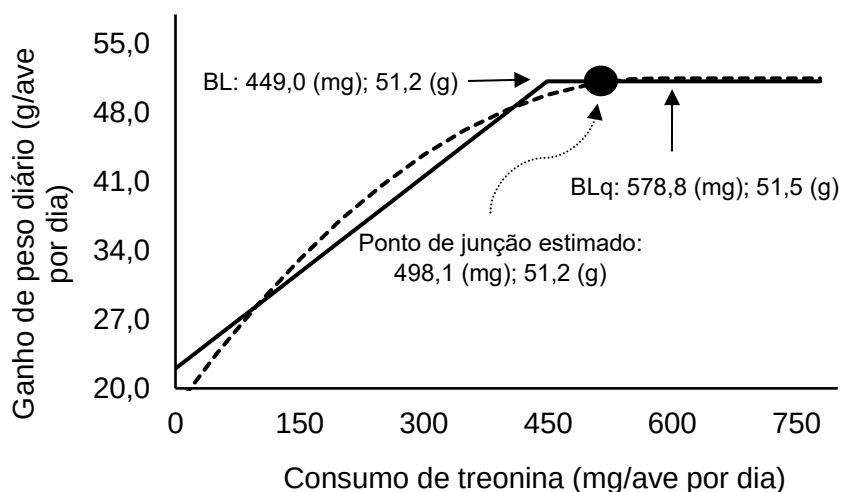


Figura 1. Relação entre consumo de treonina (mg/ave por dia) e ganho de peso diário. — Valores previstos usando o modelo de linha tracejada (BL). Valores previstos usando modelo quadrático de linhas tracejadas (BLq). ● Primeira intersecção dos modelos BL+BLq de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%.

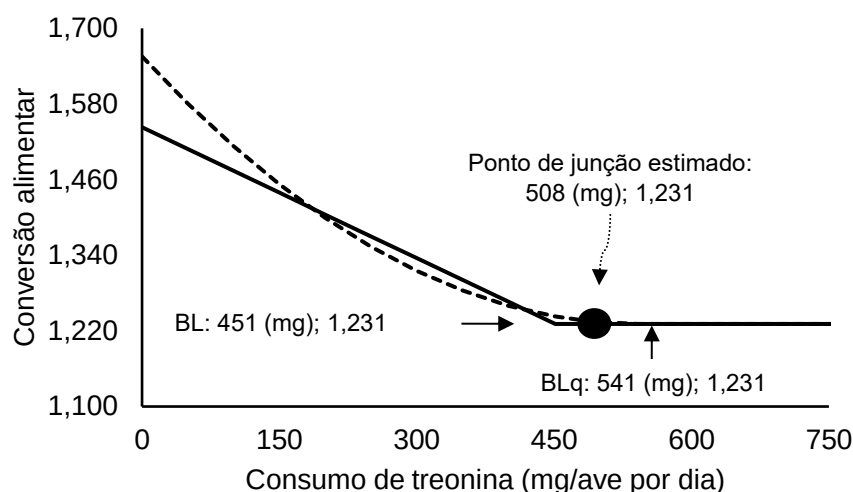


Figura 2. Relação entre consumo de treonina (mg/ave por dia) e conversão alimentar. ——— Valores previstos usando o modelo de linha tracejada (BL). Valores previstos usando modelo quadrático de linhas tracejadas (BLq). ● Primeira interceptação dos modelos BL+BLq de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%.

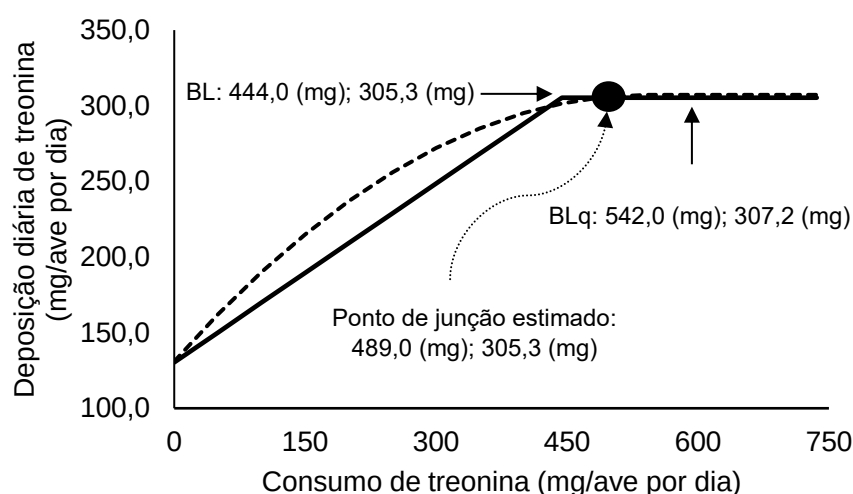


Figura 3. Relação entre consumo de treonina (mg/ave por dia) e deposição diária de treonina. ——— Valores previstos usando o modelo de linha tracejada (BL). Valores previstos usando modelo quadrático de linhas tracejadas (BLq). ● Primeira interceptação dos modelos BL+BLq de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%.

Na tabela 7 são apresentadas as médias de composição corporal de frangos de corte aos 21 dias de idade. Apenas não foi observado efeito para as variáveis de densidade mineral óssea, proteína, água, gordura e cinzas. Com base na análise de contrastes, a DB (5,96 g/kg) diferiu dos demais níveis.

Também foram observados efeitos linear e quadrático ($p < 0.001$) para as variáveis analisadas. O ganho de peso corporal e a massa total foram 12% inferiores quando a dieta basal foi fornecida aos frangos de corte em relação ao nível mais alto de inclusão de Thr. Para peso de penas, houve redução de 11% nas aves alimentadas com dieta basal, deficiente em treonina, em relação às aves alimentadas com dietas formuladas para o maior nível de treonina. Enquanto que, para o peso de corpo livre de penas houve redução de 13% em relação ao nível de 10,22 g/kg de treonina.

A deposição de proteína corporal g/frango reduziu 14%, enquanto a deposição de água reduziu 13% e a gordura e cinzas reduziram 13% e 6%, respectivamente, quando os animais receberam a DB em comparação com o nível mais alto.

Os parâmetros ajustados dos modelos BL e BLq para as variáveis de peso corporal, massa total água, proteína e gordura corporal estão apresentadas na Tabela 8. Os valores estimados para λ no quadrático platô superiores em relação àqueles obtidos no platô linear para todas as variáveis. A concentração e a ingestão de Thr estimada para peso corporal, massa total água, proteína e gordura corporal foram, respectivamente, 0,740% e 481,2 mg/ave por dia, 0,737% e 459,0 mg/ave por dia, 0,731% e 479,4 mg/ave por dia, 0,805% e 496,2 mg/ave por dia, 0,792% e 487,4 mg/ave por dia (Tabela 9).

Tabela 7. Avaliação *in vivo* da composição corporal de frangos de corte machos aos 21 dias de idade alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%

Variáveis	Níveis de Treonina na dieta, g/kg						Geral	SEM	<i>p</i> -valor				
	5.96	6.81	7.66	8.52	9.37	10.22			Anova	Controle vs Outros	Linear	Quadrático	CV
Peso corporal, g/ave	957,6	1069,6	1078,6	1082,4	1113,8	1081,5	1063,9	7,4	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,9
Massa total, g/ave	926,4	1048,5	1061,3	1060,1	1086,4	1059,1	1040,3	8,2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,7
Densidade mineral óssea, g/cm ²	175,2	182,6	167,2	177,8	168,4	176,0	174,5	1,7	0,101	0,856	0,425	0,516	7,5
Peso das penas, g/ave	120,3	133,8	135,2	135,0	137,9	134,9	132,9	0,9	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,1
Peso corporal livre de penas, g/broiler	806,0	914,6	926,1	925,0	948,5	924,1	907,4	7,3	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,7
Composição corporal, g/kg													
Proteína	135,6	134,2	138,9	137,4	139,2	138,0	137,2	0,6	0,238	0,277	0,060	0,477	3,8
Água	666,4	651,0	670,8	664,3	670,5	667,1	665,5	3,0	0,470	0,837	0,372	0,935	3,5
Gordura	106,9	111,7	108,0	109,6	108,6	109,0	109,0	0,7	0,086	0,081	0,064	0,216	11,0
Cinzas	28,3	28,2	25,0	27,4	25,7	26,4	26,8	0,3	0,566	0,218	0,841	0,516	5,2
Composição corporal, g/ave													
Proteína	109,3	122,6	128,6	127,0	132,1	127,5	124,5	1,1	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	4,4
Água	536,8	594,8	620,9	614,2	635,9	616,3	603,1	5,1	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	4,0
Gordura	86,3	102,3	100,1	101,4	103,1	100,8	99,0	1,2	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	7,8
Cinzas	22,7	25,8	23,2	25,3	24,3	24,4	24,3	0,3	0,125	0,046	0,386	0,263	11,3

SEM: Erro padrão da média. ANOVA: Análise de variância. CV: Coeficiente de variação.

Tabela 8. Parâmetros lineares tracejados e de platô quadrático para peso corporal, massa total, água corporal, proteína corporal e lipídeo corporal de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%

Requisito estimado						
Análise linear broken-line						
Resposta	Unidade	Ψ	β	λ	P-valor	R ²
Peso corporal	%	1091,6±7,3	-1235,4±130,0	0,698±0,008	<0,001	0,81
	g/ave por dia	1093,9±5,5	-1,025±0,1	477,0±13,6	<0,001	0,67
Massa total	%	1069±11,8	-1356,3±155,9	0,694±0,008	<0,001	0,76
	g/ave por dia	1067,7±10,1	-1,723±0,2	435±7,6	<0,001	0,72
Água corporal	%	623,5±3,7	-682,7±122,6	0,723±0,01	<0,001	0,66
	g/ave por dia	623,1±12,0	-0,806±0,1	461,0±12,1	<0,001	0,75
Proteína corporal	%	128,6±0,8	-156,0±24,5	0,720±0,01	<0,001	0,71
	g/ave por dia	128,6±0,8	-0,188±0,02	456,6±11,7	<0,001	0,73
Gordura corporal	%	101,8±0,8	-156,7±36,3	0,683±0,01	<0,001	0,60
	g/ave por dia	102,0±1,2	-0,064±0,02	481,2±43,6	<0,001	0,64
Análise broken-line quadratico						
Peso corporal	%	1094,6±7,4	-2252,9±742,8	0,821±0,03	<0,001	0,76
	g/ave por dia	1094,2±9,0	-0,004±0,0003	520,0±0,1	<0,001	0,71
Massa total	%	1074,1±9,5	-1556,5±726,3	0,862±0,05	<0,001	0,68
	g/ave por dia	1073,0±12,7	-0,0051±0,0005	520,0±0,1	<0,001	0,71
Água corporal	%	627,8±18,5	-751,4±293,8	0,919±0,06	<0,001	0,70
	g/ave por dia	623,5±7,7	-0,0034±0,0008	511,9±19,3	<0,001	0,76
Proteína corporal	%	128,6±0,8	-577,9±163,3	0,779±0,02	<0,001	0,71
	g/ave por dia	128,5±0,8	-0,00087±0,0002	503,6±17,2	<0,001	0,73
Gordura corporal	%	102,1±1,0	-179,0±78,6	0,834±0,04	<0,001	0,64
	g/ave por dia	102,3±0,9	-0,00050±0,0004	511,5±62,9	<0,001	0,64

ψ – Intercepto. β – Inclinação. λ – Ponto de quebra

Tabela 9. Exigência de treonina de acordo com a linha quebrada platô linear (BL), linha quebrada com ascendência quadrática (BLq) e primeiro intercepto de BLq nos modelos de platô BL em mg/frango por dia e % para peso corporal, massa total, proteína corporal, lipídeo corporal e água corporal de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%

Variáveis	Consumo de Treonina, mg/ave por dia			Variáveis	Concentração na dieta, %		
	Modelo Broken-line	Modelo Broken-line quadrático	Primeiro ponto de interseção		Modelo Broken-line	Modelo Broken-line quadrático	Primeiro ponto de interseção
Peso corporal, g/broiler	477,0	520,0	481,2		0,698	0,821	0,740
Massa total, g/ave	435,0	520,0	459,0		0,694	0,862	0,737
Proteína corporal, g/ave	456,6	503,6	479,4		0,720	0,779	0,731
Gordura corporal, g/ave	481,2	511,5	496,2		0,683	0,834	0,805
Água, g/ave	461,0	511,9	487,4		0,723	0,919	0,792

Experimento II

Na tabela 10, estão apresentadas as médias de CR, GP, CA e eficiência de utilização de ração em frangos de corte na fase de 22 a 42 dias de idade. Foi observado efeito para todas as variáveis analisadas. Aos 28 e 35 dias de idade, o CR das aves que receberam a DB (5,11 g/kg), reduziu em 2% e 5%, respectivamente, se comparada ao maior nível de Thr (9,11 g/kg). Foi observado efeito quadrático para esta variável e, linear e quadrático para as demais.

O nível deficiente de treonina provocou redução no GP aos 28, 35 e 42 dias em 12%, 17% e 15%, respectivamente. Enquanto, verificou-se aumento de 13%, 12% e 17% para CA no mesmo período. A eficiência alimentar reduziu em 16%, 12% e 16% aos 28, 35 e 42 dias de idade, respectivamente quando comparado o menor nível de Thr com o nível mais alto. Foi observado efeito consumo diário de Thr, deposição diária de Thr e na exigência de manutenção de Thr (Tabela 11). A análise de contrastes mostrou efeito entre os tratamentos suplementados com L-treonina biomassa 80% comparados ao tratamento sem suplementação.

Os parâmetros ajustados para os modelos BL e BLq para as variáveis de GP, eficiência de utilização e deposição diária de Thr estão descritos na Tabela 12. Como esperado, os valores estimados para λ no BLq foram superiores aos estimados para o BL em todas as variáveis. Assim como apresentado na primeira fase, o GP, CA e a deposição diária de Thr foram selecionadas para detalhar as interpretações do efeito da ingestão Thr (mg/ave por dia) (Figuras 4 – 6).

Os modelos BL e BLq estimados para GP foram, respectivamente, ($y = 118.2(\pm 0.6) - 0.059(\pm 0.007) \times [1200.0(\pm 25.6) - x]$, $R^2 = 0.73$ e ($y = 119.9(\pm 0.8) - 0.00004(\pm 0.00001) \times [1450.0(\pm 70.5) - x]^2$, $R^2 = 0.73$). Para CA, o modelo estimado do BL foi ($y = 1.541(\pm 0.011) + 0.0007(\pm 0.0001) \times [1220.0(\pm 29.7) - x]$, $R^2 = 0.53$ e BLq foi ($y = 1.536(\pm 0.027) + 0.00000052(\pm 0.0000001) \times [1480.0(\pm 46.5) - x]^2$, $R^2 = 0.51$). Para a variável de deposição diária de treonina o modelo BL foi ($y = 705.2(\pm 3.7) - 0.359(\pm 0.041) \times [1109.6(\pm 23.0) - x]$, $R^2 = 0.73$ e BLq ($y = 709.5(\pm 5.1) - 0.0003(\pm 0.00008) \times [1338.7(\pm 54.8) - x]^2$, $R^2 = 0.72$). A concentração e a ingestão de Thr estimada para as variáveis estão apresentadas na Tabela 13.

Tabela 10. Consumo diário de ração (g/frango d), Ganho diário de peso corporal (g/frango d), Taxa de conversão alimentar (g/g) e Eficiência alimentar (g/kg) de frangos de corte, aos 28, 35 e 42 anos dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%

Variáveis	Níveis de Treonina na dieta, g/kg						Geral	SEM	p-valor				CV
	5,11	6,08	6,84	7,59	8,35	9,11			Anova	Controle vs Outros	Linear	Quadrática	
Consumo diário de ração, g/ave													
28 dias de idade	133,0	139,3	137,5	136,3	136,5	135,4	136,3	0,5	0,016	0,002	0,811	0,008	2,6
35 dias de idade	164,2	179,4	174,2	171,7	171,8	172,8	172,3	1,0	<0,001	<0,001	0,280	0,007	3,8
42 dias de idade	183,7	190,0	179,8	188,3	177,8	180,2	183,3	1,3	<0,029	0,883	0,076	0,456	5,1
Ganho de peso diário, g/ave													
28 dias de idade	83,0	98,8	100,7	100,7	103,6	101,1	98,0	1,0	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,8
35 dias de idade	94,5	111,3	111,0	113,9	112,2	113,3	109,4	1,0	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	4,0
42 dias de idade	102,1	117,6	116,5	119,4	118,1	119,9	115,6	0,9	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,5
Conversão alimentar, g/g													
28 dias de idade	1,603	1,410	1,366	1,354	1,318	1,340	1,399	0,013	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,1
35 dias de idade	1,737	1,614	1,570	1,508	1,531	1,526	1,581	0,012	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,0
42 dias de idade	1,798	1,617	1,540	1,577	1,505	1,502	1,590	0,015	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	4,1
Eficiência alimentar, g/kg													
28 dias de idade	624,1	709,2	732,3	738,9	759,2	746,5	718,4	6,1	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,2
35 dias de idade	576,2	620,5	637,6	663,3	653,3	655,8	634,4	4,4	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,9
42 dias de idade	556,9	619,6	648,7	634,9	666,0	666,3	632,1	5,8	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	4,1

SEM: Erro padrão da média. ANOVA: Análise de variância. CV: Coeficiente de variação.

Tabela 11. Consumo diário de treonina (mg/frango), deposição diária de treonina (mg/frango) e manutenção diária de treonina (mg/frango) de frangos de corte, aos 28, 35 e 42 dias de idade, alimentados com dietas com L- treonina-biomassa 80%

Variáveis	Níveis de Treonina na dieta, g/kg							SEM	p-valor				CV
	5,11	6,08	6,84	7,59	8,35	9,11	Geral		Anova	Controle vs Outros	Linear	Quadrático	
Consumo diário de Treonina, mg/ave													
28 dias de idade	679,7	847,1	940,9	1034,9	1140,0	1233,6	979,4	24,1	0,010	<0,001	<0,001	0,011	2,7
35 dias de idade	839,1	1091,1	1191,5	1303,7	1435,0	1574,5	1239,2	31,4	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,7
42 dias de idade	938,8	1155,4	1229,9	1429,2	1484,9	1641,7	1313,3	31,4	0,029	<0,001	<0,001	<0,001	5,3
Deposição diária de Treonina, mg/ave													
28 dias de idade	493,9	588,0	599,5	599,6	616,8	601,6	583,2	5,9	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,8
35 dias de idade	562,3	662,3	660,5	678,0	667,9	674,5	650,9	6,1	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	4,0
42 dias de idade	608,0	699,8	693,2	710,5	702,7	713,8	688,0	5,5	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,5
Manutença diária de Treonina, mg/ave													
28 dias de idade	60,4	62,2	62,5	62,4	62,8	62,5	62,1	0,1	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,8
35 dias de idade	71,7	75,2	75,2	75,7	75,4	75,6	74,8	0,2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	1,2
42 dias de idade	83,5	88,1	87,8	88,6	88,2	88,8	87,5	0,2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	1,3

SEM: Erro padrão da média. ANOVA: Análise de variância. CV: Coeficiente de variação.

Tabela 12. Parâmetros estimados linear e platô quadrático para ganho diário de peso corporal, conversão alimentar, eficiência alimentar e deposição diária de treonina de frangos de corte de 22 a 42 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%

Requisito estimado						
Análise linear broken-line						
Resposta	Unidade	Ψ	β	λ	P-valor	R ²
Ganho de peso diário	%	117,8±0,5	-159,6±16,0	0,609±0,007	<0,001	0,75
	g/ave por dia	118,2±0,6	-0,059±0,007	1200,0±25,6	<0,001	0,73
Conversão alimentar	%	1,529±0,016	1,760±0,230	0,638±0,013	<0,001	0,63
	g/ave por dia	1,541±0,011	0,0007±0,0001	1220,0±29,7	<0,001	0,53
Eficiência de utilização	%	651,4±4,2	-603,2±118,8	0,660±0,02	<0,001	0,69
	g/ave por dia	649,3±11,2	-0,248±0,044	1249,7±43,3	<0,001	0,56
Deposição diária de treonina	%	702,0±10,6	-969,2±91,4	0,610±0,007	<0,001	0,78
	g/ave por dia	705,2±3,7	-0,359±0,041	1109,6±23,0	<0,001	0,73
Análise broken-line quadratico						
Ganho de peso diário	%	119,2±0,1	-159,6±68,3	0,807±0,061	<0,001	0,62
	g/ave por dia	119,9±0,8	-0,00004±0,00001	1450,0±70,5	<0,001	0,73
Conversão alimentar	%	1,492±0,021	1,951±0,381	0,870±0,039	<0,001	0,63
	g/ave por dia	1,536±0,027	0,00000052±0,0000001	1480,0±46,5	<0,001	0,51
Eficiência de utilização	%	661,1±12,8	-606,2±243,8	0,896±0,080	<0,001	0,67
	g/ave por dia	649,3±10,2	-0,0003±0,0001	1380,1±94,4	<0,001	0,57
Deposição diária de treonina	%	709,6±21,2	-1003±409,0	0,800±0,056	<0,001	0,67
	g/ave por dia	709,5±5,1	-0,0003±0,00008	1338,7±54,8	<0,001	0,72

ψ – Intercept. β – Slope. λ – Break Point.

Tabela 13. Exigência de treonina de acordo com a linha quebrada platô linear (BL), linha quebrada com ascendência quadrática (BLq) e primeiro intercepto de BLq nos modelos de platô BL em mg/frango por dia e % para ganho de peso diário, conversão alimentar relação, eficiência alimentar e deposição diária de treonina de frangos de corte de 22 a 42 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%

Variáveis	Consumo de Treonina, mg/ave por dia			Concentração na dieta, %		
	Modelo Broken-line	Modelo Broken-line quadrático	Primeiro ponto de interseção	Modelo Broken-line	Modelo Broken-line quadrático	Primeiro ponto de interseção
Ganho de peso diário, g/ave	1200,0	1450,0	1315,3	0,609	0,807	0,760
Conversão alimentar, g/g	1220,7	1480,0	1322,0	0,638	0,870	0,745
Eficiência de utilização, g/kg	1249,7	1380,1	1338,0	0,660	0,896	0,744
Deposição diária de Treonina, mg/ave	1109,6	1338,7	1275,6	0,610	0,800	0,766

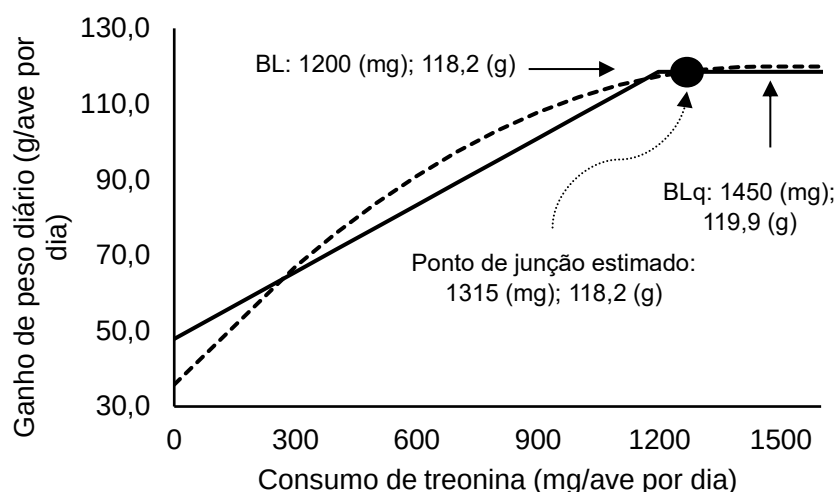


Figura 4. Relação entre consumo de treonina (mg/ave por dia) e ganho de peso diário (g/frango por dia).——— Valores previstos usando o modelo de linha tracejada (BL). Valores previstos usando modelo quadrático de linhas tracejadas (BLq). ● Primeira interceptação dos modelos BL+BLq de frangos de corte de 22 a 42 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%.

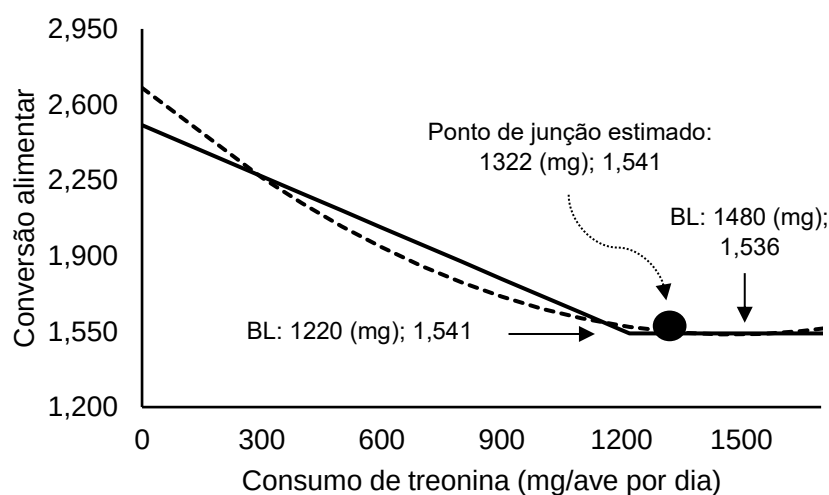


Figura 5. Relação entre consumo de treonina (mg/ave por dia) e conversão alimentar.——— Valores previstos usando o modelo de linha tracejada (BL). Valores previstos usando modelo quadrático de linhas tracejadas (BLq). ● Primeira interceptação dos modelos BL+BLq de frangos de corte de 22 a 42 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%.

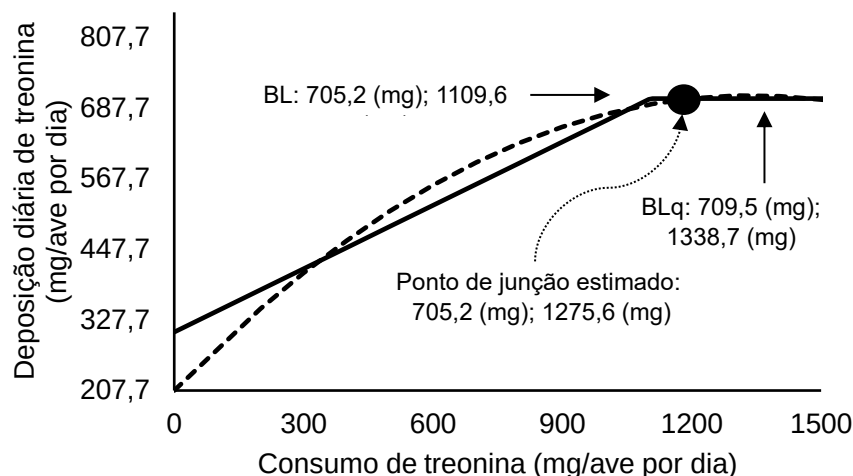


Figura 6. Relação entre consumo de treonina (mg/ave por dia) e deposição diária de treonina (g/ave por dia). ——— Valores previstos usando o modelo de linha tracejada (BL). Valores previstos usando modelo quadrático de linhas tracejadas (BLq). ● Primeira interceptação dos modelos BL+BLq de frangos de corte de 22 a 42 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%.

Na tabela 14 estão apresentadas as médias de composição corporal de frangos de corte aos 42 dias de idade. Não houve efeito para as variáveis densidade mineral óssea e quantidade de proteína, água, gordura, cinzas (g/kg) e cinzas (g/frango). Em contrapartida, observou-se efeito dos níveis de treonina para os demais parâmetros avaliados ($p > 0.001$). Ao realizar a análise de contrastes, observou-se que, todos os demais tratamentos promoveram valores médios superiores para os parâmetros avaliados em relação àqueles da dieta basal ($p < 0.001$). Os níveis avaliados apresentaram efeito linear e quadrático para todas as variáveis ($p < 0.001$), exceto para a variável de deposição corporal de lipídeo ($p = 0.165$).

Por não apresentar efeito quadrático a variável de deposição corporal de lipídeo não pôde ser ajustada ao modelo BLq, sendo ajustada apenas para o platô linear correspondendo a $(y = 448.3(\pm 3.3) - 175.0(\pm 95.4) \times [0.684(\pm 0.076) - x])$, $R^2 = 0.50$ para a concentração de Thr na dieta e $(y = 447.8(\pm 3.9) - 0.085(\pm 0.035) \times [1245.2(\pm 96.5) - x])$, $R^2 = 0.50$ para a ingestão de Thr (mg/ave por dia). Para as demais variáveis, os modelos ajustados estão apresentados na Tabela 15, e as recomendação com base no primeiro ponto de intersecção entre o platô linear e quadrático estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 14. Avaliação *in vivo* da composição corporal de frangos de corte machos aos 42 dias de idade alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%

Variáveis	Níveis de Treonina na dieta, g/kg						Geral	SEM	Anova	P-Valor			
	5,11	6,08	6,84	7,59	8,35	9,11				Controle vs Outros	Linear	Quadrático	CV
Peso corporal, g/ave	3238,8	3548,7	3554,5	3560,4	3560,2	3590,0	3505,6	21,9	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,1
Massa total, g/ave	3247,4	3552,2	3553,3	3547,3	3566,2	3581,4	3503,2	21,9	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,2
Densidade mineral óssea, g/cm ²	219,0	219,4	217,8	219,3	218,1	222,2	219,3	1,4	0,968	0,968	0,639	0,512	5,2
Peso das penas, g/ave	345,4	370,8	371,9	373,6	370,6	375,8	368,0	1,9	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	3,1
Peso corporal livre de penas, g/ave	2902,0	3171,4	3181,4	3200,7	3167,8	3223,5	3141,1	20,8	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	3,9
Composição corporal, g/kg													
Proteína	145,5	150,2	147,2	151,3	148,4	150,9	148,9	0,6	0,078	0,020	0,057	0,446	3,3
Água	619,8	631,8	620,3	635,4	625,2	633,2	627,6	2,5	0,296	0,160	0,223	0,783	3,0
Gordura	142,4	140,8	144,2	139,4	143,2	141,0	141,8	0,7	0,496	0,736	0,763	0,935	4,1
Cinzas	25,3	24,3	24,1	23,8	24,4	24,5	24,4	0,2	0,633	0,100	0,415	0,112	7,8
Deposição corporal, g/ave													
Proteína	422,3	483,3	474,5	480,2	478,1	482,1	469,1	3,8	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,6
Água	1798,7	2003,1	1996,3	2031,6	1980,4	2041,0	1978,6	14,5	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,7
Gordura	417,8	431,3	453,5	424,3	463,3	448,8	440,5	3,2	<0,001	<0,001	<0,001	0,165	3,6
Cinzas	73,4	77,2	76,8	76,1	77,3	78,8	76,6	0,8	0,529	0,065	0,089	0,781	8,1

SEM: Erro padrão da média. ANOVA: Análise de variância. CV: Coeficiente de variação.

Tabela 15. Parâmetros estimados de peso corporal, massa total, água corporal, proteína corporal e lipídio corporal de frangos de corte aos 42 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%

Requisito estimado						
Análise linear broken-line						
Resposta	Unidade	Ψ	β	λ	P-valor	R ²
Peso corporal	%	3566,4±17,4	-3195,0±523,5	0,614±0,013	<0,001	0,58
	g/ave por dia	3572±18,4	-1,182±0,2	1194,0±38,4	<0,001	0,56
Massa total	%	3564,2±1,4	-3125,5±57,6	0,620±0,001	<0,001	0,57
	g/ave por dia	3572,2±18,3	-1,117±0,224	1190,1±38,9	<0,001	0,53
Água corporal	%	2015,0±20,4	-2007±325,3	0,608±0,012	<0,001	0,59
	g/ave por dia	2015,8±21,6	-1,552±0,178	1065,7±0,6	<0,001	0,61
Proteína corporal	%	480,8±2,6	-605,2±188,0	0,603±0,028	<0,001	0,64
	g/ave por dia	479,8±2,7	-0,273±0,150	1141,8±104,8	<0,001	0,53
Análise broken-line quadratico						
Peso corporal	%	3578,6±53,2	-5094,9±1912,4	0,755±0,043	<0,001	0,60
	g/ave por dia	3570,0±59,2	-0,0027±0,0011	1264,0±68,9	<0,001	0,66
Massa total	%	3578,0±29,1	4795,6±1863,8	0,755±0,042	<0,001	0,56
	g/ave por dia	3552,0±1,0	-0,00179±0,00004	1306,5±5,3	<0,001	0,52
Água corporal	%	2021,1±42,4	-5073,3±2431,3	0,708±0,045	<0,001	0,54
	g/ave por dia	2021,6±1,2	-0,0015±0,00008	1295,9±11,2	<0,001	0,53
Proteína corporal	%	480,1±3,1	-1037,3±395,3	0,734±0,041	<0,001	0,54
	g/ave por dia	480,6±3,0	-0,0004±0,0001	1283,4±76,6	<0,001	0,64

ψ – Intercepto. β – Inclinação. λ – Ponto de quebra

Tabela 16. Exigência de treonina de acordo com a linha quebrada platô linear (BL), linha quebrada com ascendência quadrática (BLq) e primeiro intercepto de BLq nos modelos de platô BL em mg/frango por dia e % para peso corporal, massa total, proteína corporal e água corporal de frangos de corte aos 42 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%

Variáveis	Consumo de Treonina, mg/ave por dia			Concentração na dieta, %		
	Modelo Broken-line	Modelo Broken-line quadrático	Primeiro ponto de interseção	Modelo Broken-line	Modelo Broken-line quadrático	Primeiro ponto de interseção
Peso corporal, g/ave	1194,0	1264,0	1203,6	0,617	0,755	0,675
Massa total, g/ave	1190,1	1306,5	1260,1	0,620	0,755	0,673
Proteína corporal, g/ave	1141,8	1283,4	1206,0	0,603	0,734	0,700
Água corporal, g/ave	1065,7	1295,9	1166,0	0,608	0,708	0,666

Na Tabela 17 estão apresentadas as médias de rendimento de carcaça de frangos de corte aos 42 dias de idade. Não foi observado efeito dos níveis de treonina sobre as variáveis de peso de carcaça e peso de asa (g/kg). Com base na análise de contrastes, apenas a variável de peso da asa (g/kg) não foi influenciada pelos níveis de treonina na dieta ($p = 0.096$). A DB reduziu o peso em jejum, peso da carcaça, peso do peito, peso de coxa + sobrecoxa, peso de asa (g/frango) em 11%, 12%, 16%, 10%, 8%, respectivamente, e aumentou o peso da gordura abdominal (g/frango) em 31%. Para peso do peito (g/kg) a redução foi de 5% e, o aumento observado no peso da gordura abdominal (g/kg) foi de 43%.

Como apresentado, não houve efeito quadrático para a variável de coxa + sobrecoxa, por esse motivo, apenas ajustou-se o platô linear para concentração ($y = 784.4(\pm 21.1) - 319.0(\pm 87.4) \times [0.694(\pm 0.038) - x]$, $R^2 = 0.79$ e ingestão de Thr ($y = 786.3(\pm 18.5) - 0.173(\pm 0.049) \times [1294.5(\pm 79.4) - x]$, $R^2 = 0.79$). Os modelos de platô linear e com ascendência quadrática ajustados para as demais variáveis estão apresentados na Tabela 18. As recomendações de concentração e ingestão de Thr com base no ponto de interseção entre o platô linear e quadrático são apresentados na Tabela 19.

Tabela 17. Rendimento de carcaça de frangos de corte machos aos 42 dias de idade alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%

Variáveis	Níveis de Treonina na dieta, g/kg							SEM	P-Valor				
	5,11	6,08	6,84	7,59	8,35	9,11	Geral		Anova	Controle vs Outros	Linear	Quadratic o	CV
Peso, g/ave													
Corpo em jejum	3279,7	3615,6	3641,8	3626,4	3601,2	3663,6	3571,4	21,9	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,0
Carcaça	2481,3	2783,9	2810,4	2802,3	2757,2	2804,5	2739,9	19,6	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,6
Peito	1006,8	1210,6	1197,5	1211,5	1177,9	1192,2	1166,1	11,9	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	5,1
Coxa + sobrecoxa	722,7	756,5	784,6	773,3	769,5	798,4	767,9	5,9	0,002	<0,001	<0,001	0,193	5,1
Asa	249,6	267,4	277,5	272,5	277,8	272,4	269,2	1,7	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,3
Gordura abdominal	56,2	41,6	35,9	38,6	39,3	38,9	41,8	1,5	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	23,4
Rendimento, g/kg													
Carcaça	756,5	770,1	771,5	772,6	765,6	765,4	766,9	1,6	0,059	0,003	0,299	0,003	1,6
Peito	405,6	434,5	426,0	432,6	427,0	425,2	425,1	2,0	<0,001	<0,001	0,022	<0,001	3,2
Coxa + sobrecoxa	289,4	273,3	279,2	275,7	279,2	284,6	280,3	1,4	0,019	0,003	0,741	0,001	3,6
Asa	99,8	96,8	98,8	98,0	98,0	98,1	98,2	0,4	0,439	0,096	0,462	0,414	3,2
Gordura abdominal	22,7	14,9	12,0	13,8	14,2	12,9	15,1	0,6	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	21,1

SEM: Erro padrão da média. ANOVA: Análise de variância. CV: Coeficiente de variação.

Tabela 18. Parâmetros estimados linear e quadrático-platô para corpo, carcaça, peito, coxa+coxa, asa e gordura abdominal em jejum de frangos de corte aos 42 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%

Requisito estimado						
Análise linear broken-line						
Resposta	Unidade	Ψ	β	λ	P-valor	R ²
Corpo em jejum	%	3632,8±77,2	-2238,9±387,7	0,642±0,017	<0,001	0,62
	g/ave por dia	3640,2±16,6	-1,303±0,182	1205,0±29,2	<0,001	0,65
Carcaça	%	2792,2±14,4	-2869,0±409,1	0,611±0,011	<0,001	0,62
	g/ave por dia	2783±13,7	-1,433±0,331	1123,0±39,3	<0,001	0,54
Peito	%	1194,8±8,4	-1833,0±271,4	0,614±0,012	<0,001	0,62
	g/ave por dia	1193,2,0±27,1	-0,977±0,094	1123,0±0,9	<0,001	0,66
Asa	%	274,5±1,4	-183,6±41,1	0,647±0,024	<0,001	0,54
	g/ave por dia	275,0±1,6	-0,086±0,014	1236,0±42,0	<0,001	0,54
Gordura abdominal	%	35,9±1,3	170,4±36,1	0,630±0,021	<0,001	0,51
	g/ave por dia	36,8±1,8	0,067±0,012	1201,6±40,2	<0,001	0,62
Análise broken-line quadratico						
Corpo em jejum	%	3647,3±28,7	-5283,3±1934,1	0,762±0,044	<0,001	0,70
	g/ave por dia	3647,0±20,6	-0,0019±0,0001	1359,0±59,2	<0,001	0,70
Carcaça	%	2802,3±77,1	-3830,7±1465,0	0,772±0,045	<0,001	0,61
	g/ave por dia	2786,7±0,9	-0,0013±0,00001	1323,7±2,7	<0,001	0,53
Peito	%	1202,1±27,2	-2417,4±864,1	0,764±0,040	<0,001	0,54
	g/ave por dia	1195,0±1,0	-0,00109±0,00003	1332,7±6,5	<0,001	0,61
Asa	%	275,3±2,4	-285,0±244,7	0,800±0,120	<0,001	0,52
	g/ave por dia	275,0±1,7	-0,0001±0,00003	1397,3±78,4	<0,001	0,53
Gordura abdominal	%	36,4±1,7	692,7±331,5	0,680±0,039	<0,001	0,70
	g/ave por dia	36,8±1,9	0,0001±0,00006	1301,0±87,3	<0,001	0,61

ψ – Intercepto. β – Inclinação. λ – Ponto de quebra

Tabela 19. Exigência de treonina de acordo com a linha quebrada platô linear (BL), linha quebrada com ascendência quadrática (BLq) e primeiro intercepto de BLq nos modelos de platô BL em mg/frango por dia e % para corpo em jejum, carcaça, peito, coxa+ sobrecoxa, asa e gordura abdominal de frangos de corte de 22 a 42 dias de idade, alimentados com dietas com L-treonina-biomassa 80%

Variáveis	Consumo de Treonina, mg/ave por dia			Concentração na dieta, %		
	Modelo Broken-line	Modelo Broken-line quadrático	Primeiro ponto de interseção	Modelo Broken-line	Modelo Broken-line quadrático	Primeiro ponto de interseção
Corpo em jejum	1205,0	1359,0	1297,6	0,642	0,762	0,693
Carcaça	1123,0	1323,7	1269,6	0,614	0,772	0,668
Peito	1123,0	1332,7	1258,6	0,613	0,764	0,710
Asa	1236,0	1397,3	1300,0	0,647	0,800	0,706
Gordura abdominal	1201,6	1301,0	1247,3	0,630	0,680	0,646

DISCUSSÃO

Objetivou-se com esse estudo determinar a exigência de L-treonina-biomassa 80% para frangos de corte nas fases de 1 a 21 e de 22 a 42 dias de idade. Neste estudo, as dietas foram formuladas com a inclusão de farelo de amendoim para tornar a Thr o primeiro AA limitante. Essa metodologia está de acordo com Baker (1986) que para determinar a exigência de um AA essencial, é necessário que, o consumo deste AA seja limitado. Nesta pesquisa, a redução de Thr na dieta basal foi 30% das recomendações proposta por Rostagno et al. (2017).

A DB reduziu significativamente o desempenho dos animais em ambas as fases de produção. A análise de contraste entre os tratamentos suplementados com L-treonina-biomassa 80% e a DB demonstrou que a redução no nível do aminoácido estudado provocou sua limitação de maneira significativa.

A DB reduziu o desempenho dos animais em ambas as fases avaliadas. Em estudos anteriores, demonstrou-se que, frangos de corte alimentados com dietas reduzidas em Thr promoveram queda no desempenho produtivo (DOZIER et al., 2015; KIDD; KERR, 1997; MIN et al., 2017).

A redução no CR das aves alimentadas a DB na primeira fase, pode estar relacionada com o mecanismo de proteção. De acordo com Ross-Inta et al. (2009) animais alimentados com dietas limitadas em AA essenciais, reduzem o CR para não exacerbar ainda mais o desequilíbrio aminoacídico proveniente da deficiência do AA.

As recomendações em concentração e mg de Thr na dieta para CR nesta pesquisa foi de 0,738% e 508,3mg na fase de 1 a 21 dias de idade. Rangel-Lugo et al. (1994) determinaram para a máxima resposta de consumo de ração a exigência de Thr igual a 0,760% para a mesma fase. Na fase de 22 a 42 dias de idade, não houve efeito linear e quadrático para esta variável. Desta forma, os modelos de platô linear e com ascendência quadrática não puderam ser ajustados, impossibilitando a recomendação com base nesta variável. Dozier et al. (2000b) também não observaram efeito dos níveis de Thr no consumo diário de ração de frangos de corte para a fase de 22 a 42 dias de idade.

Os modelos ajustados para GP nos modelos BL e BLq apresentaram bom ajuste avaliado pelo R^2 (0,71% e 0,94%), mesmo quando a variável foi avaliada em ingestão diária de Thr (mg/ave/dia). Entretanto, esses parâmetros devem ser

interpretados com cautela, principalmente as respostas biológicas de λ que não se referem à melhor concentração e ingestão de Thr. O λ apenas indica a mudança na trajetória y correspondendo aos eixos das abcissas.

O ponto da primeira interseção entre o platô linear e de ascendência quadrática indicou a exigência de Thr para GP de frangos de corte de 0,760% para ambas as fases, correspondente a 498,1 mg para a primeira e 1315,3 mg para a segunda fase. Çiftci & Ceylan, (2004) relataram que, a concentração ótima de Thr na dieta variou de 0,680% a 0,750% na fase de 1 a 21 dias de idade e de 0,650% a 0,680% na fase de 22 a 42 dias de idade. Enquanto Liebert (2006), relatou 0,790% (10 a 25 dias) e 0,720% (30 a 45 dias). De acordo com Robbins (1986), a estimativa de exigência de Thr para o máximo ganho de peso de frangos de corte corresponde de 3,6% a 3,8% da PB da dieta. Nesta pesquisa, a relação variou 3,3% e 3,8% entre as fases avaliadas.

A menor CA na fase de 1 a 21 dias de idade foi observada na concentração 0,810% de Thr (508,7mg), essa resposta difere daquela encontrada por Zaefarian et al. (2008) que observaram a menor CA na concentração de 0,700% de Thr para a mesma fase. Çiftci e Ceylan (2004) determinaram a exigência de Thr para CA em 0,723%, semelhante à recomendação estimada nesta pesquisa de 0,745% (1322,0mg). A exigência de Thr em percentual e mg na dieta para a deposição do aminoácido em questão foi de 0,758% e 489,0mg na fase de 1 a 21 e de 0,766% e 1275,6mg para a fase de 22 a 42 dias de idade.

A melhora no CR, GP, CA e deposição de treonina, provavelmente está relacionada com o efeito deste AA na síntese proteica, mucosa intestinal, aumento das vilosidades e função das enzimas digestivas (ZAEFARIAN et al., 2008; NAJAFI et al., 2017; MIN et al., 2017). O aumento da Thr nas dietas de frangos está associado à maiores níveis dos hormônios triiodotironina (T3) e tiroxina (T4), que são cruciais para o metabolismo proteico, energético e no aumento das concentrações do fator de crescimento semelhante à insulina-1 (IGF-I) (GHANIMA et al., 2023). Al-Hayani (2017) demonstraram que a suplementação de 6,0 para 9,0 g/kg de Thr elevou a concentração GH no sangue de frango no período de 21 a 35 dias de idade.

A exigência de Thr para manutenção aumentou conforme houve o aumento da suplementação com L-treonina-biomassa 80%. Essa resposta era esperada, pois a

exigência de manutenção corresponde à quantidade mínima de um nutriente para manter as funções básicas do organismo, visto que houve aumento no ganho de peso corporal das aves em função dos níveis crescentes de treonina na dieta e maior peso corporal implica em maior exigência para manutenção.

Os tratamentos afetaram significativamente a deposição corporal em ambas as fases avaliadas. A relação entre a água e o peso corporal foi de aproximadamente 63% em ambas as fases nos níveis avaliados. Essa relação da quantidade de água e o peso corporal está de acordo com os dados publicados por Caldas et al. (2019). Esperava-se que os tratamentos não influenciariam nessa relação, entretanto, a deposição de água na carcaça aumentou em função da suplementação com L-treonina-biomassa 80%. A água participa de diversas funções no organismo animal, dentre elas a síntese proteica.

Durante o crescimento, a síntese e deposição proteica corporal leva ao aumento de água, uma vez que a água é necessária para a formação do tecido muscular (FANATICO et al., 2005). Portanto, frangos com maior deposição de proteína muscular apresentam maior retenção de água corporal. Semelhante ao comportamento apresentado na variável de deposição corporal de água, a deposição corporal de proteína também aumentou linearmente em função da suplementação com L-treonina biomassa 80%.

A suplementação com L-treonina biomassa 80% aumentou a concentração de lipídeo na carcaça dos animais aos 21 e aos 42 dias de idade até as doses de 6,81 e 6,08 g/kg, respectivamente. Conforme a suplementação de Thr aumentou, as concentrações de lipídeos na carcaça foram reduzidas. Essas respostas assemelham-se com as publicadas por Rangel-Lugo et al. (1994) quando avaliaram o efeito de níveis crescentes de Thr nas dietas para frangos de corte. Uma explicação possível para esta resposta é que a Thr regula a expressão gênica hepática relacionada a absorção de lipídeos. De acordo com Jiang et al. (2019) a redução de Thr nas dietas desregulou a expressão gênica hepática relacionada à absorção de lipídios e síntese de ácidos graxos, provocando o maior acúmulo de lipídeos em patos Pequim.

A gordura abdominal reduziu linearmente em função do aumento dos níveis de Thr nas dietas. Essa resposta corrobora com as publicadas por Kheiri e Alibeyghi (2017) que, observaram redução da gordura abdominal com o aumento do nível de

Thr na dieta. É provável que esta resposta esteja relacionada ao desequilíbrio aminoacídico, uma vez que, suplementação adequada dos AA resulta em uma melhor utilização da energia para a síntese proteica, e não ser armazenada na forma de gordura. Além disso, a Thr favorece o metabolismo lipídico (MA et al., 2020).

A suplementação de L-treonina-biomassa 80% melhorou o rendimento de carcaça de frangos de corte aos 42 dias de idade. Dozier et al. (2000a) não observaram efeito dos níveis de Thr no rendimento de carcaça de frangos de corte na fase final. Estalkhzir et al. (2013) recomendaram 0,770% de Thr na dieta para o máximo rendimento de carcaça. Nesta pesquisa, o máximo rendimento de carcaça foi estimado no nível de 0,668% de Thr (1269,6 mg). A máxima resposta para rendimento de peito foi estimada no nível de 0,710% de Thr (1258,6 mg). Essa recomendação está ligeiramente abaixo da publicada por Estalkhzir et al. (2013) que, observaram maior rendimento do peito no nível de 0,770%.

Para o rendimento de asa, Al-Sagan et al. (2018) publicaram a exigência de 0,830% de Thr. No presente estudo, a recomendação para o maior rendimento de asa foi estimada em 0,706% de Thr (1300,0 mg). Por não apresentar bons ajustes no platô com ascendência quadrática, não foi possível realizar a recomendação para a variável de coxa + sobrecoxa.

É de amplo conhecimento que dietas limitadas em AA essenciais reduzem o desempenho animal e o rendimento de carcaça. A redução observada na DB nas variáveis analisadas, pode de estar associada com o efeito da Thr na síntese proteica (WANG et al., 2006), e com o desequilíbrio aminoacídico causado pela sua deficiência na DB. Pesquisas demonstraram que a relação ideal entre Thr:Lys varia de 66% a 69% (MEJIA et al., 2012; DOZIER et al., 2015; ROSTAGNO et al., 2017). Nesta pesquisa, a relação Thr:Lys na dieta basal foi de 44%, consideravelmente menor que o recomendado pelos autores.

A recomendação para ingestão ótima de Thr baseada no valor da primeira intersecção entre os modelos linear platô e com ascendência quadrática, foi testado e aceito anteriormente por outros pesquisadores (BAKER et al., 2002; ROBBINS et al., 2006; SILVA et al., 2019).

Nas figuras foram ilustrados o ajuste dos modelos, bem como, o ponto de recomendação, obtido pelo primeiro ponto de intersecção entre o modelo BL e BLq.

A recomendação intermediária entre a predição mínima no modelo BL e BLq, permite uma faixa de segurança para os nutricionistas que podem levar em consideração nas formulações o preço e os ingredientes disponíveis (BAKER et al., 2002; SILVA et al., 2019).

As concentrações de Thr na dieta para a máxima resposta de frangos de corte nas fases de 1 a 21 dias de idade e de 22 a 42 dias de idade foram 0,768% e 0,704, respectivamente. As recomendações atuais são de 0,852% e 0,759% (ROSTAGNO et al., 2017). Existe variação nos requerimentos publicadas em artigos científicos até o momento. De acordo com Rangel-Lugo et al. (1994) parte da variação na exigência de Thr para frangos de corte pode ser devido a variação no nível de PB da dieta, já que a necessidade de Thr aumenta em resposta ao aumento da PB na dieta.

O requerimento estimado para Thr quando os níveis foram alcançados com a L-treonina biomassa 80%, foram menores do que os publicados em trabalhos com os níveis obtidos a partir da suplementação com L-treonina 98,5%. É possível que essa resposta esteja relacionada à concentração de biomassa no produto avaliado (20%). Essa biomassa apresenta em sua composição AAs essenciais e não essenciais, energia e proteína (ALMEIDA et al., 2014) que podem ter atuado para o melhor desempenho dos animais. Nas formulações das dietas avaliadas nesta pesquisa, não foram consideradas as concentrações dos demais AAs disponíveis na biomassa do produto. Apenas para fins de exemplo, a biomassa desse produto contém aproximadamente de 0,56% de metionina e 1,49% de lisina com 43% e 84% de digestibilidade, respectivamente. A inclusão L-treonina biomassa 80% como suplementação para atender os níveis de Thr exigidos por frangos de corte nos períodos de 1 a 21 dias e de 22 a 42 dias de idade é viável do ponto de vista nutricional.

Os resultados mostram que a exigência de L-treonina para ganho de peso e conversão alimentar é de 498 e 541,0 mg/ave por dia e de 0,760 e 0,810% para frangos de corte de 1 a 21 dias de idade. As exigências de L-treonina biomassa 80% para ganho de peso e conversão alimentar foram de 1315 e 1322 mg/ave por dia e de 0,760 e 0,745% para frangos de corte de 22 a 42 dias de idade.

REFERÊNCIAS

- ABO GHANIMA, M. M. *et al.* Growth performance, liver and kidney functions, blood hormonal profile, and economic efficiency of broilers fed different levels of threonine supplementation during feed restriction. **Poultry Science**, v. 102, n. 8, 2023.
- AL-HAYANI, W. K. A. Effect of threonine supplementation on broiler chicken productivity traits. **International Journal of Poultry Science**, v. 16, n. 4, p. 160–168, 2017.
- ALMEIDA, F. N.; SULABO, R. C.; STEIN, H. H. Amino acid digestibility and concentration of digestible and metabolizable energy in a threonine biomass product fed to weanling pigs. **Journal of Animal Science**, v. 92, n. 10, p. 4540–4546, 2014.
- ALMQUIST, H. J.; GRAU, C. E. The amino acid requirements of the chick. **The Journal of Nutrition**, v. 28, n. 5, p. 325–331, 1944.
- AL-SAGAN, A. A.; KHALIL, S.; SMITH, M. P. The benefit of L-threonine supplementation on growth performance, carcass characteristics, intestinal morphology and litter quality of broilers. **Revista Brasileira de Ciencia Avicola / Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 20, n. 4, p. 753–758, 2018.
- BAKER, D. H. Problems and Pitfalls in Animal Experiments Designed to Establish Dietary Requirements for Essential Nutrients. **J. Nutr.** [S. l.], 116: 2339–2349, 1986.
- BAKER, D. H.; BATALLA, A. B.; PARR, T. M.; AUGSPURGER, N. R.; PARSONS, C. M. Ideal Ratio (Relative to Lysine) of Tryptophan, Threonine, Isoleucine, and Valine for Chicks During the Second and Third Weeks Posthatch. **Poultry Science** [S. l.], v. 81 p. 485–494, 2002.
- CALDAS, J. V. *et al.* The dynamics of body composition and body energy content in broilers. **Poultry Science**, v. 98, n. 2, p. 866–877, 2019.
- ÇİFTÇİ, I.; CEYLAN, N. Effects of dietary threonine and crude protein on growth performance, carcass and meat composition of broiler chickens. **British Poultry Science**, v. 45, n. 2, p. 280–289, 2004.
- DOZIER, W. A. *et al.* Growth performance of male broilers fed diets varying in digestible threonine to lysine ratio from 1 to 14 days of age. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 24, n. 4, p. 457–462, 2015.
- DOZIER, W. A.; MORAN, E. T.; KIDD, M. T. Threonine requirement for broiler males from 42 to 56 days of age. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 9, n. 2, p. 214–222, 2000a.
- DOZIER, W. A.; MORAN, E. T.; KIDD, M. T. Broiler Chick Utilization of Threonine from Fermentation By-Product Broth. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 12, p. 299 – 305, 2003.

EDWARDS III, H. M. *et al.* Maintenance threonine requirement and efficiency of its use for accretion of whole-body threonine and protein in young chicks. **British Journal of Nutrition**, v. 78, n. 1, p. 111–119, 1997.

ESTALKHZIR, F. M. *et al.* The Effect of Different Levels of Threonine on Performance and Carcass Characteristics of Broiler Chickens. **Journal of Novel Applied Sciences**, v. 2, p. 382–386, 2013.

FANATICO, A. C. *et al.* Evaluation of Slower-Growing Broiler Genotypes Grown with and Without Outdoor Access: Meat Quality. **Poultry Science**, v. 84, n. 11, p. 1785–1790, 2005

HEGSTED, D. M. Growth in chicks fed amino acids. **Journal Of Biological Chemistry**, v. 156, n. 1, p. 247–252, 1944.

JIANG, Y. *et al.* Dietary threonine supplementation improves hepatic lipid metabolism of Pekin ducks. **Animal Production Science**, v. 59, n. 4, p. 673–680, 2019.

KHEIRI, F.; ALIBEYGHI, M. Effect of different levels of lysine and threonine on carcass characteristics, intestinal microflora and growth performance of broiler chicks. **Italian Journal of Animal Science**, v. 16, n. 4, p. 580–587, 2017.

KIDD, M. T.; KERR, B. J. Threonine responses in commercial broilers at 30 to 42 days. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 6, n. 4, p. 362–367, 1997.

KIDD, M. T.; KERR, B. J.; ANTHONY, N. B. Dietary Interactions between Lysine and Threonine in Broilers. **Poultry Science**, v. 76, n. 4, p. 608–614, 1997.

LEUCHTENBERGER, W.; HUTHMACHER, K.; DRAUZ, K. Biotechnological production of amino acids and derivatives: Current status and prospects. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 69, n. 1, p. 1–8, 2005.

MA, Q. *et al.* Threonine, but Not Lysine and Methionine, Reduces Fat Accumulation by Regulating Lipid Metabolism in Obese Mice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 68, n. 17, p. 4876–4883, 2020.

MEJIA, L. *et al.* Assessment of the threonine-to-lysine ratio of male broilers from 35 to 49 days of age. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 21, n. 2, p. 235–242, 2012.

MIN, Y. N. *et al.* Effects of dietary threonine levels on growth performance, serum biochemical indexes, antioxidant capacities, and gut morphology in broiler chickens. **Poultry Science**, v. 96, n. 5, p. 1290–1297, 2017.

NAJAFI, R.; AHMAR, R.; TAZEHKAND, G. N. Effect of different dietary threonine levels on optimal growth performance and intestinal morphology in 1-14 days old ross 308 broilers. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 19, n. Special, p. 59–66, 2017.

NONIS, M. K.; GOUS, R. M. Threonine and lysine requirements for maintenance in chickens. **South African Journal of Animal Science**, v. 38, n. 2, p. 75–82, 2008.

PENZ, A. M.; COLNAGO, G. L.; JENSEN, L. S. Threonine supplementation of practical diets for 3- to 6-wk-old broilers. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 6, n. 4, p. 355–361, 1997.

RAMA RAO, S. V. *et al.* Performance, carcass variables and immune responses in commercial broiler chicks fed graded concentrations of threonine in diet containing sub-optimal levels of protein. **Animal Feed Science and Technology**, v. 169, n. 3–4, p. 218–223, 2011.

RANGEL-LUGO, M.; SU, C. L.; AUSTIC, R. E. Threonine requirement and threonine imbalance in broiler chickens. **Poultry science**, v. 73, n. 5, p. 670–681, 1994.

ROBBINS, K. R. Threonine Requirement of the Broiler Chick as Affected by Protein Level and Source. **Poultry Science**, [S. l.], v. 66, p. 1531 – 1534, 1986.

ROBBINS, K. R.; SAXTON, A. M.; SOUTHERN, L. L. Estimation of nutrient requirements using broken-line regression analysis. **J. Anim. Sci.** [S. l.], v. 84, p. 155 – 165, 2006.

ROSE, W. C. *et al.* Isolation of the “unknown essential” present in proteins in “PROCEEDINGS OF THE AMERICAN SOCIETY OF BIOLOGICAL CHEMISTS”. **Journal of Biological Chemistry**, v. 109, n. 2, p. 77–78, 1935.

ROSS-INTA, C. M. *et al.* Threonine-deficient diets induced changes in hepatic bioenergetics. **American Journal of Physiology - Gastrointestinal and Liver Physiology**, v. 296, n. 5, 2009.

ROSTAGNO, H. S. *et al.* **Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos - composição de alimentos e exigências nutricionais**. 4. Viçosa, MG: UFV, DZO, 2017.

SAMADI; LIEBERT, F. Modeling of Threonine Requirement in Fast-Growing Chickens, Depending on Age, Sex, Protein Deposition, and Dietary Threonine Efficiency. **Poultry Science**, v. 85, p.1961–1968, 2006.

SIGOLO, S. *et al.* Effect of a low crude protein diet supplemented with different levels of threonine on growth performance, carcass traits, blood parameters, and immune responses of growing broilers. **Poultry Science**, v. 96, n. 8, p. 2751–2760, 2017.

SILVA, E. P. DA *et al.* Modeling the response of Japanese quail hens to lysine intake. **Livestock Science**, v. 224, n. 2, p. 69–74, 2019.

WANG, X. *et al.* Effects of graded levels of true ileal digestible threonine on performance, serum parameters and immune function of 10-25 kg pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 129, n. 3–4, p. 264–278, 2006.

WENSLEY, M. R. *et al.* Effects of amino acid biomass or feed-grade amino acids on growth performance of growing swine and poultry. **Translational Animal Science**, v. 4, n. 1, p. 49–58, 2020.

ZAEFARIAN, F.; ZAGHARI, M.; SHIVAZAD, M. The Threonine Requirements and its Effects on Growth Performance and Gut Morphology of Broiler Chicken Fed

Different Levels of Protein. **International Journal of Poultry Science**, v. 7, n. 12, p. 1207–1215, 2008.